

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2019**

**Bc. Marek Jeriga**

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Inteligentní kamerové senzory pro absolutní kontrolu kvality  
Intelligent Camera Sensors for Quality Control**

**2019**

**Bc. Marek Jeriga**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Jeriga**  
Studijní program: **N2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **2612T041 Řídicí a informační systémy**  
Téma: **Intelligentní kamerové senzory pro absolutní kontrolu kvality**  
**Intelligent Camera Sensors for Quality Control**  
Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

1. Analýza stavu techniky inteligentních kamerových senzorů určených pro průmyslové aplikace.
2. Výběr dvou vhodných inteligentních senzorů srovnatelných parametrů s integrovaným osvětlením.
3. Zvládnutí zapojení a parametrizace senzorů – napájení, připojení k PC, programování, předání/zobrazení výsledku inspekce.
4. Návrh a provedení testů s oběma senzory na třech typických úlohách absolutní kontroly kvality. Výběr vhodné varianty pro jednotlivé testy.
5. Vyhodnocení těchto testů (porovnání absolutní přesnosti kontroly rozměrů, statistické vyhodnocení spolehlivosti a opakovatelnosti detekce, vyhodnocení vlivu proměnlivých světelných podmínek na spolehlivost detekce) a shrnutí výhod a nevýhod u jednotlivých modelů.
6. Praktická aplikace nastavení senzorů na dvou reálných úlohách s jedním konkrétním typem senzoru.
7. Zhodnocení výsledků řešení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

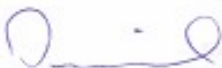
- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.  
[2] BRESS, Thomas J. *Effective labview programming*. 1st ed. Allendale: NTS Press, 2013, 701 s. ISBN 19-348-9108-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019

  
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry

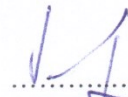


  
prof. Ing. Pavel Brandšetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

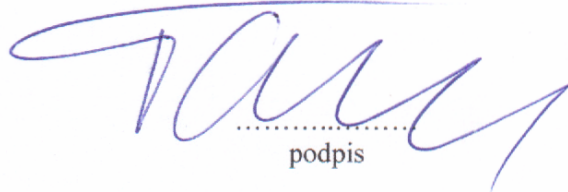
V Ostravě dne: 24. dubna 2019

  
.....  
podpis studenta

## **Prohlášení zástupce spolupracující fyzické osoby**

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě dne: 23. dubna 2019



.....  
podpis

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu této diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a konzultace při vytváření této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval doc. Ing. Janu Žídkovi, CSc. za jeho ochotu při konzultacích. Poděkování patří také společnosti Elvac a.s. za poskytnuté téma pro diplomovou práci.

## **Abstrakt**

Diplomová práce ukazuje místo kamerových senzorů v problematice strojového vidění, firmy na českém trhu, jejichž portfolio obsahuje kamerové senzory. Inteligentní kamerové senzory jednotlivých firem jsou porovnány a dva z nich jsou vybrány pro následné srovnání pomocí úloh typických pro tuto problematiku. Jsou zde také představeny základní druhy osvětlení pro problematiku strojového vidění. Je zde ukázáno nastavení obou vybraných kamerových senzorů na třech úlohách, a také možné předání výsledků inspekce. Výsledky jsou následně zpracovány a vhodně vyhodnoceny. S jedním konkrétním typem kamerového senzoru jsou zde ukázány také dvě typické úlohy, které jsou realizovány v automobilovém průmyslu.

## **Klíčová slova**

Strojové vidění, kamerový senzor, Keyence, Cognex, porovnání, osvětlení

## **Abstract**

The thesis shows the position of vision sensors in the field of machine vision, companies operating in the Czech Republic, whose portfolio contains vision sensors. Vision sensors of individual companies are compared and two of them are selected for subsequent comparison using tasks that are typical for this issue. In this thesis are also introduced basic types of lighting for machine vision. There is shown setting of both selected vision sensors on three applications, and communication to show inspection status. The results are then processed and appropriately evaluated. With one type of vision sensor, two typical tasks that are implemented in the automotive industry are also shown here.

## **Key words**

Machine vision, vision sensor, Keyence, Cognex, comparison, lighting



# Obsah

Seznam použitých zkratk.....	- 11 -
Seznam ilustrací a seznam tabulek.....	- 12 -
Úvod.....	- 14 -
1 Strojové vidění.....	- 15 -
1.1 Systémy pro strojové vidění.....	- 15 -
1.2 Kamerový senzor .....	- 16 -
1.3 Inteligentní kamera .....	- 16 -
1.4 Vestavěné systémy .....	- 17 -
1.5 Počítačové systémy .....	- 17 -
1.6 Zákaznické systémy .....	- 17 -
2 Nabídka inteligentních kamerových senzorů na trhu .....	- 18 -
2.1 Porovnání inteligentních kamerových senzorů .....	- 18 -
2.1.1 Keyence .....	- 18 -
2.1.2 Cognex.....	- 19 -
2.1.3 Sick.....	- 19 -
2.1.4 Balluff.....	- 19 -
2.1.5 Sensopart .....	- 20 -
2.1.6 Baumer .....	- 20 -
2.1.7 Banner .....	- 20 -
2.1.8 MatrixVision .....	- 21 -
2.1.9 Festo .....	- 21 -
2.1.10 Omron.....	- 21 -
2.1.11 ifm .....	- 22 -
2.1.12 Wenglor .....	- 22 -
2.1.13 Datalogic .....	- 22 -
2.2 Výběr dvou vhodných kamerových senzorů.....	- 24 -
2.2.1 Keyence IV-150MA .....	- 24 -
2.2.2 Cognex In-Sight 2000-130 .....	- 26 -
3 Osvětlení pro strojové vidění .....	- 28 -
3.1 Geometrie osvětlení .....	- 28 -
3.2 Typy osvětlení.....	- 29 -

4	Testovací úlohy a porovnání vybraných kamerových senzorů .....	33 -
4.1	Porovnání .....	33 -
4.2	Kontrola průmyslových konektorů na pásovém dopravníku .....	34 -
4.2.1	Keyence .....	36 -
4.2.2	Cognex.....	40 -
4.2.3	Vyhodnocení .....	42 -
4.2.4	Proměnlivé světelné podmínky .....	48 -
4.3	Kontrola rozměrů sponek.....	50 -
4.3.1	Keyence .....	51 -
4.3.2	Cognex.....	52 -
4.3.3	Vyhodnocení .....	52 -
4.4	Kontrola konektoru v automobilovém světlometu.....	55 -
4.4.1	Keyence .....	57 -
4.4.2	Cognex.....	58 -
4.4.3	Vyhodnocení .....	58 -
4.5	Celkové porovnání .....	58 -
5	Reálné průmyslové úlohy s kamerovým senzorem Keyence .....	60 -
5.1	Kontrola konektoru .....	60 -
5.2	Kontrola přítomnosti nálepek.....	61 -
5.3	Komunikace s PLC .....	64 -
	Závěr .....	67 -
	Použitá literatura .....	68 -
	Seznam příloh.....	73 -

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<b>PC</b>	Personal Computer
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>DI</b>	Digital Input
<b>DO</b>	Digital Output
<b>OCR</b>	Optical Character Recognition
<b>Stupeň krytí IP</b>	Stupeň krytí Ingress Protection
<b>Adresa IP</b>	Internet Protocol address
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode
<b>CMOS</b>	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
<b>CCD</b>	Charge-coupled device
<b>DOAL</b>	Diffuse On Axis Lighting
<b>ČSN</b>	Česká technická norma
<b>QR</b>	Quick Response
<b>HMI</b>	Human Machine Interface
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification

## Seznam ilustrací a seznam tabulek

<i>Obr. 1 Senzor Keyence IV-500CA [4]</i> .....	- 16 -
<i>Obr. 2 Inteligentní kamera Cognex IN-SIGHT 8000 [5]</i> .....	- 17 -
<i>Obr. 3 Kamery Basler [6]</i> .....	- 17 -
<i>Obr. 4 Keyence IV-150MA – instalační vzdálenost [55]</i> .....	- 25 -
<i>Obr. 5 Příslušenství pro vytvoření tzv. dome light [56]</i> .....	- 25 -
<i>Obr. 6 Cognex In-Sight 2000-I30– instalační vzdálenost s různými objektivy [58]</i> .....	- 26 -
<i>Obr. 7 Příslušenství k senzorům Cognex řady In-Sight 2000 [58]</i> .....	- 27 -
<i>Obr. 8 Modulární tělo kamerového senzoru [58]</i> .....	- 27 -
<i>Obr. 9 Geometrie osvětlení</i> .....	- 28 -
<i>Obr. 10 Osvětlení typu plošného osvětlovacího pole</i> .....	- 29 -
<i>Obr. 11 Osvětlení typu kruhového osvětlovače</i> .....	- 30 -
<i>Obr. 12 Osvětlení typu kopulového osvětlovače</i> .....	- 30 -
<i>Obr. 13 Osvětlení typu koaxiálního osvětlovače</i> .....	- 31 -
<i>Obr. 14 Osvětlení typu dark-field</i> .....	- 31 -
<i>Obr. 15 Osvětlení typu backlight</i> .....	- 32 -
<i>Obr. 16 Model pásového dopravníku</i> .....	- 34 -
<i>Obr. 17 Reflexní světelný snímač s potlačeným pozadím [62]</i> .....	- 34 -
<i>Obr. 18 Kontrola konektorů na pásovém dopravníku</i> .....	- 35 -
<i>Obr. 19 Pásový dopravník s kontrolovanými konektory</i> .....	- 36 -
<i>Obr. 20 Indikátory NOK stavů pro oba kamerové senzory</i> .....	- 36 -
<i>Obr. 21 Nastavení nástroje Possition Adjustment</i> .....	- 37 -
<i>Obr. 22 Nastavení možné rotace oproti původnímu snímku</i> .....	- 37 -
<i>Obr. 23 Nastavení nástroje Width</i> .....	- 38 -
<i>Obr. 24 Nastavení rozpoznávání hran</i> .....	- 38 -
<i>Obr. 25 Nastavení nástroje Area</i> .....	- 39 -
<i>Obr. 26 Nastavení vstupů a výstupů</i> .....	- 39 -
<i>Obr. 27 Snímek konektoru vyhodnocen jako OK</i> .....	- 40 -
<i>Obr. 28 Snímek konektoru vyhodnocen jako NOK</i> .....	- 40 -
<i>Obr. 29 Nastavení možné rotace oproti původnímu snímku</i> .....	- 41 -
<i>Obr. 30 Nastavení rozpoznávání hran</i> .....	- 41 -
<i>Obr. 31 Nastavení nástroje Pixel Count</i> .....	- 41 -
<i>Obr. 32 Snímek konektoru vyhodnocen jako OK</i> .....	- 42 -
<i>Obr. 33 Snímek konektoru vyhodnocen jako NOK</i> .....	- 42 -
<i>Obr. 34 Strannost a shodnost měření pro normální rozdělení hodnot</i> .....	- 46 -
<i>Obr. 35 Parazitní osvětlení</i> .....	- 48 -
<i>Obr. 36 Kontrolovaná jistící sponka</i> .....	- 50 -
<i>Obr. 37 Pracoviště pro kontrolu rozměrů sponek</i> .....	- 50 -
<i>Obr. 38 Princip osvětlení backlight BL-130W [67]</i> .....	- 51 -
<i>Obr. 39 Snímek sponky vyhodnocen jako OK – referenční poloha sponky</i> .....	- 52 -
<i>Obr. 40 Snímek sponky vyhodnocen jako OK – natočení sponky</i> .....	- 52 -
<i>Obr. 41 Princip bodového osvětlení [68]</i> .....	- 56 -
<i>Obr. 42 Sestava pro kontrolu konektoru s kamerovým senzorem Keyence a bodovým osvětlením</i> ..	- 57 -

<i>Obr. 43 Snímek konektoru vyhodnoceného jako NOK.....</i>	<i>- 57 -</i>
<i>Obr. 44 Snímek konektoru vyhodnoceného jako OK.....</i>	<i>- 58 -</i>
<i>Obr. 45 Snímek konektoru vyhodnoceného jako OK.....</i>	<i>- 61 -</i>
<i>Obr. 46 Snímek konektoru vyhodnoceného jako NOK.....</i>	<i>- 61 -</i>
<i>Obr. 47 První kamera – nálepka č.1 je otočena.....</i>	<i>- 63 -</i>
<i>Obr. 48 První kamera – všechny nálepky jsou nalepeny správně.....</i>	<i>- 63 -</i>
<i>Obr. 49 Druhá kamera – všechny nálepky jsou nalepeny správně .....</i>	<i>- 64 -</i>
<i>Obr. 50 Nastavení vstupů.....</i>	<i>- 65 -</i>
<i>Obr. 51 Nastavení výstupů .....</i>	<i>- 65 -</i>
<i>Obr. 52 Nastavení výstupních signálů.....</i>	<i>- 66 -</i>
<i>Tab. 1 Porovnání kamerových senzorů značek Keyence, Cognex a Sick [42] [43] [44].....</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Tab. 2 Porovnání kamerových senzorů značek Balluf, Sensopart a Baumer [45] [46] [47].....</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Tab. 3 Porovnání kamerových senzorů značek Banner, MatrixVision a Festo [48] [49] [50] .....</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Tab. 4 Porovnání kamerových senzorů značek Omron a ifm [51] [52].....</i>	<i>- 24 -</i>
<i>Tab. 5 Porovnání kamerových senzorů značek Wenglor a Datalogic [53] [54] .....</i>	<i>- 24 -</i>
<i>Tab. 6 Porovnání kamerových senzorů Keyence IV H150 MA a Cognex In-Sight 2000-130.....</i>	<i>- 33 -</i>
<i>Tab. 7 Vyhodnocení pomocí nástroje pro měření rozměrů .....</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Tab. 8 Vyhodnocení pomocí nástroje pro počítání pixelů.....</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Tab. 9 Strannost měření pro referenční konektor a oba inspekční nástroje .....</i>	<i>- 46 -</i>
<i>Tab. 10 Hodnocení systému měření pro původní toleranční rozsahu .....</i>	<i>- 48 -</i>
<i>Tab. 11 Hodnocení systému měření pro upravený toleranční rozsahu .....</i>	<i>- 48 -</i>
<i>Tab. 12 Test parazitního osvětlení – nástroj pro měření rozměrů .....</i>	<i>- 49 -</i>
<i>Tab. 13 Test parazitního osvětlení – nástroj pro počítání pixelů.....</i>	<i>- 49 -</i>
<i>Tab. 14 Vyhodnocení měření pomocí kamerového senzoru Keyence.....</i>	<i>- 53 -</i>
<i>Tab. 15 Vyhodnocení měření pomocí kamerového senzoru Cognex.....</i>	<i>- 54 -</i>
<i>Tab. 16 Strannost měření pro referenční jisticí sponku a oba kamerové senzory.....</i>	<i>- 55 -</i>

## Úvod

Diplomovou práci na téma inteligentní kamerové senzory pro absolutní kontrolu kvality jsem zvolil především z toho důvodu, že mě baví průmyslová automatizace a po skončení studia chci pokračovat v tomto oboru a dále rozvíjet své znalosti v tomto odvětví. S kamerovými systémy jsem dosud neměl žádné zkušenosti, využil jsem tak možnost zvolit toto téma pro získání nových zkušeností z této oblasti.

Cílem této práce je zmapování trhu s inteligentními kamerovými senzory v České republice, zvolení dvou kamerových senzorů, které budou splňovat zadané požadavky a následné porovnání těchto dvou vybraných inteligentních kamerových senzorů na několika typických aplikacích. Dále je cílem pochopit problematiku strojového vidění a naučit se samostatně pracovat s kamerovými senzory, a to nejen v rámci testování, ale i při práci na reálných úlohách u zákazníků v průmyslovém prostředí, které jsou realizovány s jedním typem kamerového senzoru.

V první kapitole je stručně vysvětlen obor strojového vidění a rozdělení jednotlivých systému strojového vidění. Jsou zde ukázány rozdíly mezi jednotlivými typy těchto systému. Největší důraz je zde kladen samozřejmě na produkty, se kterými se bude v této diplomové práci dále pracovat, tedy na kamerové senzory.

Druhá kapitola se zabývá analýzou stavu techniky inteligentních kamerových senzorů a také výběrem dvou vhodných modelů. Je zde zmapován trh s kamerovými senzory, jednotlivé firmy jsou krátce představeny, jejich kamerové senzory stručně popsány a je také uvedeno, jaké ostatní produkty dokáží nabídnout v rámci strojového vidění. Následně jsou vybrané firmy osloveny, a od dvou firem jsou jejich kamerové senzory zakoupeny. Tyto dva produkty jsou v této kapitole také detailněji popsány. Krátce je zde také představen software, který umožňuje práci s těmito kamerovými senzory.

Ve třetí kapitole jsou k nalezení základní druhy osvětlení pro strojové vidění, bez kterého by bylo jen velmi obtížné nějakou úlohu úspěšně zpracovat. Je zde představeno osvětlení z hlediska jeho geometrie a také základní typy osvětlení. U jednotlivých typů osvětlení je také uvedeno, pro jaké typy aplikací jsou vhodné.

Čtvrtá kapitola se zabývá návrhem a realizací testů, včetně testu parazitního osvětlení, a také následným porovnáním obou vybraných kamerových senzorů. Je zde také porovnání vybavenosti nástrojů pro inspekce u jednotlivých kamerových senzorů, a testovací úlohy jsou detailně popsány. U kamerových senzorů je ukázáno jejich nastavení a také je zde vidět, jak lze předat výsledky inspekce. Nechybí zde ani vyhodnocení výsledků testů u obou kamerových senzorů. Výsledky testů jsou následně celkově shrnuty.

V poslední páté kapitole jsou k nalezení dvě praktické úlohy z průmyslového prostředí, které jsou nasazeny a úspěšně fungují v praxi. Je zde popsáno, jak probíhalo nastavení kamerových senzorů, jejich testování a stručné zhodnocení úloh. Obě úlohy jsou realizovány na jednom typu kamerového senzoru. V této kapitole je také ukázáno nastavení komunikace s PLC.

# 1 Strojové vidění

Počátek zpracování obrazu ve výpočetní technice se datuje k roku 1970, kdy tehdejší technika začala umožňovat zpracovávat relativně velký objem dat. Tomuto oboru se říkalo počítačové vidění, dnes je za strojové vidění považováno využití tohoto počítačového vidění v průmyslu, kde se stará především o inspekci různých vad, počítání výrobků, hlídání kompletnosti výrobku apod. [1]

V průmyslu se začalo strojové vidění ve větší míře objevovat až po roce 2000, a to zejména v automobilovém průmyslu. Výrobní společnosti chtěli zákazníkům dodávat bezchybné produkty v co nejkratším čase, což dokonale nahrávalo tomuto mladému oboru. Navíc se začaly na trhu objevovat levné a kvalitní čipy a procesory, což velmi podpořilo to, že se tento obor neustále rozvíjí. [1]

Strojové vidění funguje relativně jednoduše, kamera zachytí obraz, ten je vyhodnocen a uživatel dostane informaci o tom, zda je vše v pořádku. Často, ne však vždy, je využito i osvětlení objektu pro jeho lepší interpretaci. Díky osvětlení mohou více vyniknout důležité detaily zkoumaného objektu. [1]

Obraz ze snímacího prvku kamery bývá převeden na vhodnou měronosnou veličinu, která nese informaci o kombinovaném jasu barevných složek dopadajícího světla u monochromatických kamer, respektive o barvě předmětu u barevných kamer. Obraz je digitalizován a vhodně zpracován tak, aby bylo možné dostat z obrazu žádanou informaci, a to buďto v PC nebo přímo v kameře. Toto vyhodnocení obrazu se nazývá image processing. Po vyhodnocení je předána informace v digitální podobě, a uživatel získá indikaci o tom, zda je výrobek v pořádku. [1]

U strojového vidění bývá zvykem, že systém dostane informaci o tom, že produkt určený k vyhodnocení je ve správné poloze a poté vytvoří snímek. Pokud výsledek není v pořádku, je nutné vykonat zásah, a to například indikací nebo automatickým vyřazením výrobku. Pro zásah je možné využít například digitální výstupy kamerového systému, nebo odeslat data do řídicího prvku, který se o zásah postará. [1]

Strojové vidění je vhodné využít všude tam, kde jsou požadavky na 100% kvalitu výrobku a plné využití stroje s minimálními prostoji ve výrobě. Pro zákazníky je tak možné zaručit spolehlivou dodávku s garancí kvality.

## 1.1 Systémy pro strojové vidění

Podle charakteristických vlastností můžeme rozlišit 4 druhy systémů pro strojové vidění, každý systém je vhodné využít pro jiný typ úloh. Často však tyto systémy mohou mezi sebou splývat a ani sami výrobci se nedrží jednoznačného značení. [1]

Při výběru systému pro strojové vidění je nutné nejprve definovat všechny požadavky. Ne všechna kritéria lze totiž splnit všemi typy systémů. Nejdůležitějšími body pro posouzení je produkt, který bude kontrolován a prostředí, ve kterém bude systém nasazen. [2]

U testovaného objektu je dobré znát jeho rozměry, rozměry částí, které je nutné vyhodnotit, s jakou přesností je nutné vyhodnocení provádět a zda je nutné používat kameru s barevným čipem. Dalším důležitým aspektem je vzdálenost kamery od objektu, povrch a tvar objektu (zejména pro kvalitní nasvícení) a také kontrast objektu s pozadím. [2]

U procesního prostředí je nutné definovat s jakou rychlostí je žádáno objekty kontrolovat, kolik místa je v systému pro kameru a osvětlení, jaké je prostředí z hlediska vnějších vlivů a případně, jaký je požadavek na komunikaci. [2]

Důležitým aspektem u výběru kamery je především rozpočet, obtížnost jejího zprovoznění, schopnost pracovat v daném prostředí a také údržba a případné změny u kontrolovaných objektů. [2]

### 1.2 Kamerový senzor

Nejjednodušší prostředek pro strojové vidění. Kamera i systém pro vyhodnocení bývají často v jednom pouzdře, avšak jsou i kamerové senzory, které mají oddělenou snímací hlavu a vyhodnocovací modul, to je využíváno zejména ve stísněných prostorech. Kamerové senzory mívají často integrované osvětlení, ale k nalezení jsou na trhu i senzory bez osvětlení, takže je často nutné je vybavit externím osvětlením. Digitální vstupy a výstupy jsou omezeny, některé lze programovat. Tranzistorové výstupy bývají s polaritou PNP nebo NPN, mezi nimiž lze většinou volit. Jsou vyráběny pro rychlé a snadné použití. Jsou nastavovány pomocí PC, speciálních monitorů určených pro nastavení kamerových senzorů dané značky, či přímo na integrovaném displeji kamerového senzoru. Ceny za tyto zařízení jsou nízké. [1]

Specifické pro kamerové senzory je to, že uživatel může s obrazem pracovat jen do určité míry, která závisí na konkrétním senzoru, případně i na jeho verzi. Při nastavování jednotlivých inspekcí je uživatel omezen tím, jak je daný kamerový senzor vybaven a nevýhodou může být to, že uživatel není schopen dané inspekce upravovat a ani přidávat jiné typy inspekcí, než jsou v kamerovém senzoru naprogramovány výrobcem. Výhodou je naopak rychlejší a snadnější implementace než u systémů, které musí uživatel naprogramovat. Firmy často nabízejí kamerové senzory v různých verzích s tím, že vyšší verze mají často sofistikovanější typy inspekcí, a v některých případech zvládají i úlohy, které donedávna byly řešitelné jen pomocí vyšších systémů strojového vidění. Kamerové senzory dokáží například rozpoznávat vzor objektu, tvar, barvu, počítat pixely o specifické barevnosti, počítat hrany i objekty, měřit vzdálenosti mezi hranami, číst různé druhy kódů, číst text a mnoho dalších typů inspekcí v závislosti na výrobci a výbavě daného senzoru.



*Obr. 1 Senzor Keyence IV-500CA [4]*

### 1.3 Inteligentní kamera

Jedná se o kompletní systém strojového vidění s mikropočítačem pro vyhodnocování. Program bývá uložen v paměti kamery, případně v paměťové kartě. Digitální vstupy a výstupy bývají univerzálně nastavitelné, a jsou v provedení PNP nebo NPN. Nejčastěji se programují pomocí PC, kdy uživatel vidí



obraz v reálném čase. Pro komunikaci se využívá například Ethernet, RS 232, RS 422, RS 485, Profibus, Modbus. [1]



*Obr. 2 Inteligentní kamera Cognex IN-SIGHT 8000 [5]*

#### 1.4 Vestavěné systémy

Pracují s kamerou pro snímání obrazu a centrální procesorovou jednotkou, což může být vlastní hardware nebo vestavěný počítačový systém s Windows CE, Windows Embedded nebo Linux. Oproti inteligentním kamerám nabízí uživateli vyšší výpočetní výkon. Nejčastěji se dnes používají průmyslové kamery s rozhraním USB 3.0, USB 2.0 a Gigabit Ethernet. [1] [3]



*Obr. 3 Kamery Basler [6]*

#### 1.5 Počítačové systémy

Pro vyhodnocení obrazu je využit počítač a vhodný software. Průmyslová kamera se stará pouze o snímání obrazu a software vyhodnocuje obraz. Nabízí uživateli nejlepší flexibilitu, kdy si sám zvolí vhodný výkon počítače a kameru tak, aby vše odpovídalo požadavkům dané aplikace. [1] [3]

#### 1.6 Zákaznické systémy

Pro zvláštní aplikace, kde nelze použít ani jeden výše uvedený systém. Bývají vytvořeny na míru dané aplikaci. [1]

## 2 Nabídka inteligentních kamerových senzorů na trhu

Před samotným výběrem a testováním inteligentních kamerových senzorů bylo nutné provést průzkum trhu a vybrat vhodné modely. Dnešní inteligentní kamerové senzory jsou nabízeny v různých rozlišeních a s různou výbavou. Některé kamerové senzory jsou již schopny pomocí svých nástrojů zvládat kamerové inspekce, na které bylo v minulosti nutné použít alespoň inteligentní kameru. Je možné nalézt kamerové senzory s integrovaným osvětlením, s automatickým ostřením, s vysokým stupněm krytí, i méně vybavené senzory. Velký rozdíl mezi jednotlivými kamerovými senzory, které jsou nabízeny, je ve vybavenosti nástroji, které je možné použít pro účely kamerových inspekcí. Vždy je důležité vybrat kamerový senzor na míru konkrétní aplikaci. Úkolem bylo zaměřit se na kamerové senzory s integrovaným osvětlením, rozlišením 640x480px až 800x480px a monochromatickým snímáním čipem.

### 2.1 Porovnání inteligentních kamerových senzorů

Při průzkumu trhu byla orientace pouze na firmy, které mají zastoupení na českém trhu. Konkrétně bylo vybíráno z nabídky firem Keyence, Cognex, Sick, Balluff, Axima, Baumer, Turck, MatrixVision, Festo, Omron, ifm, Wenglor a Datalogic. Po prostudování portfolií uvedených firem, byly do následného porovnání, které je zpracované v tabulkách níže, vybrány inteligentní kamerové senzory, které splňovaly uvedené kritéria. Některé z firem byly poté kontaktovány, a na základě dostupných technických údajů a poskytnuté cenové nabídky byly vybrány dva odpovídající senzory. V Tab. 1 až Tab. 5 jsou uvedeny kamerové senzory jednotlivých firem, které nejvíce odpovídaly požadavkům. V dalších částech kapitoly jsou uvedeny jednotlivé značky, jejich představení, model, který nejvíce odpovídá zadaným požadavkům a také představení produktů jednotlivých firem, které spadají do strojového vidění.

#### 2.1.1 Keyence

Keyence působí na trhu od roku 1974 a zaměřuje se především na průmyslovou automatizaci. Kromě kamerových senzorů a důmyslných kamerových systémů nabízí také fotoelektrické senzory, mikroskopy, ionizátory, bezpečnostní prvky a měřicí systémy. [7]

Inteligentní kamerové senzory, které jsou u Keyence pojmenovány jako řada IV, nabízí tato firma v různých provedeních a s různou výbavou. K dispozici jsou jak monochromatické, tak také barevné kamerové senzory. Kamerové senzory jsou k dispozici ve variantě buďto jako celek, kdy je snímání obrazu i jeho vyhodnocení provedeno v jednom zařízení, nebo jako dva produkty, kdy se hlava kamerového senzoru stará o snímání obrazu, a modul, se kterým je kamerový senzor propojen, má na starosti vyhodnocení inspekci. Výhodou rozdělení na dvě samostatné jednotky je především minimální velikost snímací hlavy kamerového senzoru. Dále si zákazník může vybrat senzory s různou snímací vzdáleností a s různými typy inspekci, kterých je senzor schopen. Nižší verze jsou obvykle schopny vyhodnotit obrys obrazce, u barevných variant poté lze pracovat například s počítáním pixelů určitých barev. Vyšší verze zvládají například měření vzdáleností. Všechny kamerové senzory mají integrované osvětlení a disponují funkcí automatického zaostření na snímávaný objekt. K těmto kamerovým senzorům je možné připojit monitor určený pro nastavení inspekci, je ale také možné senzor nastavit pomocí PC a softwaru. Samozřejmostí je také nabídka různého příslušenství pro kamerové senzory. [9]

Keyence nabízí také sofistikované kamerové systémy řad CV-X a XG-X, které nabízí uživateli vysoký výpočetní výkon a také větší možnosti při práci s obrazem. Tyto systémy zpracovávají obraz v kontroléru, ke kterému je připojena průmyslová kamera Keyence. [8]

### 2.1.2 Cognex

Společnost Cognex cílí na trh průmyslové automatizace, a nabízí především systémy pro strojové vidění, software, snímače a čtečky čárových kódů. [10]

Kamerové senzory firmy Cognex nesou označení In-Sight 2000 a uživatel si může vybírat mezi monochromatickými a barevnými verzemi se třemi různými stupni vybavenosti nástroji pro vytváření inspekcí. Základní verze s označením 110 obsahuje nástroj vyhledávání vzoru. Verze 120 a 130 poté disponují možností dvojnásobného zvětšení obrazu a také disponují větším počtem nástrojů, jako například měření úhlu, počítání pixelů, a u verze 130 také měření vzdáleností a počítání hran. U těchto kamerových senzorů je možné měnit objektivy, což umožní přizpůsobit kamerový senzor na konkrétní aplikaci. Tělo je modulární a umožňuje uživateli zvolit vhodnou variantu. Všechny kamerové senzory této řady disponují integrovaným osvětlením, a uživatel má na výběr mezi manuálním a automatickým ostřením, které je však nutno dokoupit. Jako alternativu nabízí Cognex také menší verzi tohoto kamerového senzoru označenou jako In-Sight 2000 Mini, která je o 68% menší než předchozí verze. Tyto kamerové senzory disponují automatických ostřením v základní výbavě. [11] [12]

Kromě kamerových senzorů nabízí Cognex i další systémy pro 2D i 3D strojové vidění, využitelných pro mnoho typů aplikací. [13]

### 2.1.3 Sick

Firma Sick je na světovém trhu přes 60 let, a v jejím portfoliu je k nalezení mnoho výrobků pro automatizaci, bezpečnostní systémy a automatickou identifikaci. Je možné zakoupit různé typy senzorů, kamerové systémy, čtečky kódů a analyzátoři plynů. [14]

Kamerové senzory značky Sick nesou název Inspector. Uživatel si i zde může vybrat z několika variant senzorů. Kromě verzí s integrovaným difuzorem jsou všechny s vyměnitelným objektivem. Kamerové senzory mají integrované osvětlení, vyměnitelné pouzdro, a všechny jsou ostřeny manuálně. Na výběr je několik sad nástrojů pro kamerové inspekce. Kamerové senzory umí například vyhledání objektů, nalezení vzoru, počítání pixelů a vybavenější varianty zvládají mimo jiné měření vzdáleností a počítání hran. [15]

V nabídce lze nalézt také průmyslové kamery pro streamování, programovatelné průmyslové kamery a také systémy pro 3D inspekci. [16]

### 2.1.4 Balluff

Balluff se zabývá především automatizací. Nabízí výrobky pro všechny oblasti automatizace a to například snímače, rotační a lineární dráhy, identifikační systémy, signalizační a zobrazovací zařízení. [17] [18]

V nabídce jsou kamerové snímače s označením Vision BVS E, které jsou s integrovaným osvětlením a ručním ostřením. Lze volit různé specifikace těchto kamerových snímačů, kdy varianta Standard zvládne kontrolovat úplnost a kontrast výrobku, verze Advanced potom navíc i obrys a polohu.

Pro sofistikovanější úlohy je nutné zvolit inteligentní kameru, která disponuje například měřením vzdálenosti a úhlu, tato kamera však nedisponuje integrovaným osvětlením. [19]

Balluff kromě kamerových snímačů nabízí pro strojové vidění také již zmíněné inteligentní kamery a průmyslové kamery. [19]

### 2.1.5 Sensopart

Obchod Axima je výhradním zástupcem společnosti Sensopart pro český trh. Společnost Sensopart má v nabídce výrobky určené pro průmyslovou automatizaci, jako například senzory, snímače a světelné závory. [20]

Všechny kamerové senzory společnosti Sensopart mají v základní výbavě integrované osvětlení. Vzhledem k tomu, že obchod Axima na svých internetových stránkách nenabízí všechny senzory, které Sensopart dodává, byl výběr zúžen. Axima nabízí verzi kamerových senzorů Advanced a Standard, kdy oba umí sledovat polohu a orientaci výrobku, nalézt vzor, vyhodnotit úroveň jasu a kontrast. Verze Advanced navíc umí měřit vzdálenost. [20]

Na svých stránkách firma Sensopart nabízí sofistikovanější senzory, které navíc umí čtení čárového kódu, datových matic a OCR. Zajímavostí je, že Sensopart nabízí také senzory řady Robotic určené pro robotické aplikace. Tento senzor je schopný určit například správnou pozici součástky, se kterou má robot manipulovat, kontrolovat prostor, kde má být součástka uložena. Výhodou je, že kamerový senzor dokáže všechny informace o poloze předat robotu v takové podobě, že robot je schopen je převést do svého souřadného systému. V nabídce je také například senzor Solar, který je určen pro kontrolu solárních panelů, a také inteligentní kamera, která se hodí na aplikace, kde by senzor byl nedostatečný. [21]

### 2.1.6 Baumer

Baumer je společnost, která dodává senzorovou technologii, snímače, měřicí přístroje a komponenty pro zpracování obrazu. [22]

Kamerové senzory řady VeriSens jsou rozděleny podle jejich určení. Pro inspekční průmyslové úlohy jsou určeny kamerové senzory s integrovaným osvětlením řady XF, u kterých si lze volit mezi monochromatickou a barevnou verzí. Tyto kamerové senzory umí například nalézt vzor, měřit vzdálenost, číst čárové a maticové kódy, OCR, porovnávat jas, kontrast, obrysy a také disponují funkcí pro počítání oblastí a hran. [23]

Dále jsou k dispozici čtečky kódů, které jsou označeny jako řada ID, kamerové senzory určené pro kontrolu a třídění výrobků řady CS, a všestrannější kamerové senzory řady XC, které ale nedisponují integrovaným osvětlením. V nabídce jsou také průmyslové kamery. [23] [24]

### 2.1.7 Banner

Firma Turck nabízí na našem území kamerové senzory, které vyvíjí její partner Banner Engineering. Turck se zabývá průmyslovou automatizací, kdy se specializují na senzory, sběrníkové, propojovací, interface a RFID systémy a také na HMI. Banner Engineering je společnost s více než padesátiletou tradicí, zabývající se také oblastí automatizace se specializací na snímače, LED osvětlení a indikátory, bezpečnostní produkty, inteligentní bezdrátové produkty a také strojové vidění. [25] [26]

Kamerové senzory značky Banner Engineering jsou označeny jako iVu, aktuálně je v prodeji jeho druhá generace, a jsou dostupné ve verzi s integrovaným nebo s externím displejem, pomocí kterého jsou nastavovány jednotlivé inspekce v kamerovém senzoru, uživatel tedy k nastavení inspekci nepotřebuje počítač, což může v některých případech být výhodné. Senzory lze však nastavit také klasicky pomocí PC a vhodného softwaru. Kamerové snímače jsou schopny zaznamenat shodu s referenčním snímkem, přítomnost výrobku, najít na výrobku povrchové vady, počítat pixely a porovnat velikost oproti původnímu snímku. Snímače s barevným čipem poté dokáží rozeznat správnou barvu produktu. [27]

Pro oblast strojového vidění nabízí Banner Engineering také inteligentní kamery, čtečky kódů, kontroléry, osvětlení a různé příslušenství. [28]

### 2.1.8 MatrixVision

MatrixVision je na trhu již přes 30 let a zaměřuje se na strojové vidění. Kamerové senzory nesou označení mvBlueLYNX-X a uživatel si může zvolit přesně typ, který mu bude vyhovovat, v nabídce však není k nalezení kamerový senzor s integrovaným osvětlením. Jsou dostupné monochromatické i barevné varianty, obě s vyměnitelnými objektivy. Uživatel může zvolit snímací čip typu CMOS nebo CCD, což není u ostatních výrobců kamerových senzorů zvykem. Kamerový senzor firmy MatrixVision zvládá pracovat s čárovým kódem, maticovým kódem a také s OCR. Pro složitější aplikace má firma v nabídce různé typy průmyslových a inteligentních kamer. [29] [30]

### 2.1.9 Festo

Firma Festo je dodavatel různých produktů pro automatizaci. Nabízí pneumatické a elektrické pohony, motory, různé typy čidel, ventily, řídicí techniku a v neposlední řadě také kamerové systémy. [31]

Kamerové senzory firmy Festo nesou označení SBSx, a jsou rozděleny do několika kategorií. Nabízí tak uživateli zvolit možnost, která bude přesně vyhovovat jeho požadavkům. Varianty SBSI jsou s integrovaným osvětlením a také nevyměnitelnou optikou. Varianta SBSC je dodávána bez integrovaného osvětlení s vyměnitelnými objektivy. V základu nabízí kamerové senzory mnoho filtrů, se kterými lze obraz upravit. Verze SBSx-B umí číst čárové a maticové kódy a také umí rozpoznat polohu a kvalitu kódu. SBSx-Q je kamerový senzor určený pro vyhodnocení kvality výrobku a dokáže u výrobku rozeznat orientaci, polohu, úplnost a měřit vzdálenost mezi hranami. Kamerový senzor s označením SBSC-U je univerzální, a dokáže vše co výše zmíněné kamerové senzory, a navíc umí i číst OCR. Festo nabízí také kompaktní průmyslové kamery. [50] [32]

### 2.1.10 Omron

Hlavním působištěm společnosti Omron v Evropě je průmyslová automatizace, různé elektronické komponenty a zdravotní technika. [33]

Kamerové senzory firmy Omron nesou označení FQ2 a je možné vybírat z několika variant. Ke kamerovému senzoru je možné přikoupit displej, na kterém je možné nastavovat jednotlivé inspekce, nebo je možné kamerový senzor nastavit pomocí PC a vhodného softwaru. Senzory jsou k dostání s integrovaným osvětlením, a uživatel si může zvolit různé stupně úrovní inspekci. V nabídce jsou kamerové senzory určené pro identifikaci, které umí číst OCR, 2D a čárové kódy, poté kamerové

senzory určené pro kontrolu výrobku, které umí najít naučený tvar, měřit vzdálenost mezi hranami, zkontrolovat polohu a šířku hran. K dispozici jsou i modely, které zvládnou všechny tyto typy inspekce. [51]

Dále lze v nabídce firmy Omron pro oblast strojového vidění najít i průmyslové kamery, inteligentní kamery, kamerové systémy a senzory určené k manipulaci s materiálem. [34]

### 2.1.11 ifm

Společnost ifm se zabývá mnoha odvětvími v průmyslu, a to například automotive, ocelářským průmyslem, potravinářským průmyslem, ale také hydraulikou, větrnými elektrárnami, obráběcími stroji a mobilními vozy určenými do extrémních podmínek. V nabídce jsou například různé senzory, bezpečnostní technika, identifikační systémy, systémy pro prediktivní údržbu a propojovací technika. [35]

V nabídce je k nalezení kamerový senzor O2D, určený pro kontrolu obrysu výrobku, přítomnosti, orientace, polohy, a zvládne i třídění a počítání. Pro sofistikovanější úkoly je poté v nabídce kamerový senzor O2V, který zvládne navíc i měření vzdálenosti, počítání pixelů, počítání otvorů ve výrobku a kontrolu kontrastu, takže je možné kontrolovat povrch výrobku. Zajímavostí je, že ifm má v nabídce také kamerové 3D senzory určené pro vyhodnocení vzdálenosti, hladiny a objemu. [36]

V oblasti strojového vidění nabízí ifm také 3D kamery, čtečky kódů a externí osvětlení. [37]

### 2.1.12 Wenglor

Oficiální zastoupení společnosti Wenglor pro Českou republiku má na starosti firma Setron. Společnost Wenglor vyvíjí inteligentní senzory, bezpečnostní systémy a také systémy pro zpracování obrazu. Jejich produkty nacházejí využití v různých odvětvích průmyslu, jako například automotive, potravinářský průmysl, farmaceutický průmysl. [38]

Kamerový senzor Wenglor je označen názvem weQubeVision, zaměření bylo konkrétně na typ B50S005, který disponuje automatickým ostřením. Nástroje pro zpracování obrazu jsou následující: kontrola rozměrů, počítání pixelů, kontrola přítomnosti výrobku, počítání objektů, třídění výrobků, kontrola polohy. Tento kamerový senzor umí použít i filtry pro vylepšení obrazu a také statisticky vyhodnotit provedené inspekce. Kamerový senzor má na sobě také integrovaný kontrolní panel s tlačítky. [53]

Kromě kamerových senzorů nabízí společnost také čtečky OCR, snímače čárových kódů, 3D senzory inteligentní kamery, průmyslové kamery, řídicí jednotky a osvětlení. [39]

### 2.1.13 Datalogic

Datalogic se zabývá především automatizací, kdy nabízí různé druhy čteček čárových kódů, mobilních počítačů, senzorů pro detekci, měření a bezpečnost a také systému pro značení výrobků. Společnost proniká hlavně do odvětví maloobchodu, výroby, dopravy, logistiky a zdravotnictví. [40]

Kamerový senzor firmy Datalogic je relativně dobře vybaven. Jeho nejvyšší verze zvládá vyhodnotit úroveň jasu, kontrastu, měřit vzdálenost, ověřit správnou polohu, poradí si i s QR kódem, obrysem objektu, vyhledáním pozice, ověřením přítomnosti a má i funkce pro počítání. [54]

V odvětví strojového vidění má společnost Datalogic v portfoliu také inteligentní kamery, průmyslové kamery a řídicí systémy pro běh kamerových inspekcí s více kamerami a také software pro tento druh aplikací. [41]

Tab. 1 Porovnání kamerových senzorů značek Keyence, Cognex a Sick [42] [43] [44]

Výrobce	Keyence	Cognex	Sick
Název	IV	200-130	2D Vision Inspector
Typ	150MA	40-125	VSPM-6F2113
Pracovní vzdálenost	50-150mm	50-500mm	≥50mm
Osvětlení	Ano	Ano	Ano
Rozlišení [px]	752x480	640x480	640x480
Čip	1/3" CMOS, mono.	1/3" CMOS, mono.	1/3" CMOS, mono.
Krytí	IP67	IP65	IP67
Digitální vstupy	6	2	4
Digitální výstupy	4	4	3
Ostření	Automatické	Automatické / Ruční	Ruční

Tab. 2 Porovnání kamerových senzorů značek Balluff, Sensopart a Baumer [45] [46] [47]

Výrobce	Balluff	Sensopart	Baumer
Název	BVS001N	VISOR® V10	VeriSens XF700
Typ	BVS UR-3-003-E	V10-OB-S1-R12	VS XF700M03W12IP
Pracovní vzdálenost	50–1 000 mm	od 30mm	50-450mm
Osvětlení	Ano	Ano	Ano
Rozlišení [px]	640x480	736x480	752x480
Čip	1/3" CMOS, mono.	1/3" CMOS, mono.	1/3" CMOS, mono.
Krytí	IP 54	IP 67	IP 67
Digitální vstupy	2	2 (+2volitelné DI/DO)	5
Digitální výstupy	3	4 (+2volitelné DI/DO)	5
Ostření	Ruční	Ruční	Ruční

Tab. 3 Porovnání kamerových senzorů značek Banner, MatrixVision a Festo [48] [49] [50]

Výrobce	Banner	MatrixVision	Festo
Název	IVU2	mvBlueLYNX	SBSI
Typ	PRGW12	-X100w	SBSI-Q-AF-R3B-F12-W
Pracovní vzdálenost	50-300mm	podle objektivu	30 mm - nekonečný
Osvětlení	Ano	Ne	Ano
Rozlišení [px]	752x480	752x480	736x480
Čip	1/3" CMOS, mono.	1/3" CMOS, mono.	1/3" CMOS, mono.
Krytí	IP 67	IP 30 (možnost IP 65)	IP67
Digitální vstupy	2	2	2(+2volitelné DI/DO)
Digitální výstupy	3	4	4(+2volitelné DI/DO)
Ostření	Ruční	Ruční	Ruční

Tab. 4 Porovnání kamerových senzorů značek Omron a ifm [51] [52]

Výrobce	Omron	ifm
Název	FQ2	O2V
Typ	S40050F-M	101
Pracovní vzdálenost	50-215mm	50-2 000mm
Osvětlení	Ano	Ne
Rozlišení [px]	752×480	640×480
Čip	1/3" CMOS, mono.	1/3" CMOS, mono.
Krytí	IP 67	IP 67
Digitální vstupy	7	2
Digitální výstupy	3	5
Ostření	Ruční	Ruční

Tab. 5 Porovnání kamerových senzorů značek Wenglor a Datalogic [53] [54]

Výrobce	Wenglor	Datalogic
Název	weQubeVision	DataVS2
Typ	B50S005	12-DE-PRO-X
Pracovní vzdálenost	od 20mm	50 - 600mm
Osvětlení	Ano	Ano
Rozlišení [px]	736×480	640×480
Čip	1/3" CMOS, mono.	1/3" CMOS, mono.
Krytí	IP 67	IP 50
Digitální vstupy	6 volitelných DI/DO	1
Digitální výstupy	6 volitelných DI/DO	4
Ostření	Automatické	Ruční

## 2.2 Výběr dvou vhodných kamerových senzorů

Pro testování inteligentních kamerových senzorů bylo nutné vybrat dva senzory, které budou vyhovovat požadavkům, které byly následující. Kamerový senzor musí mít integrované osvětlení, možnost měření vzdáleností mezi nalezenými hranami, schopnost počítání pixelů, stupeň krytí alespoň IP 65, ideálně automatické ostření, alespoň 2 digitální vstupy a 4 digitální výstupy a pracovní vzdáleností v rozmezí 50-200mm.

Po zmapování trhu, vyřazení nevyhovujících modelů, a kontaktování jednotlivých dodavatelů s dotazem na cenu, byly zvoleny kamerové senzory od firem Keyence a Cognex, které vyhověli všem požadavkům a poskytli zboží za přijatelnou cenu.

### 2.2.1 Keyence IV-150MA

První ze zvolených kamerových senzorů je monochromatický kamerový senzor společnosti Keyence, konkrétně model IV-150MA. Tento model je vhodný pro vzdálenost od objektu od 50mm do 150mm. Disponuje 1/3" snímacím čipem typu CMOS s rozlišením 752 (H) x 480 (V) a má automatické ostření. Dále disponuje vlastním osvětlením z LED, jejichž barvu lze specifikovat při objednávce. Objednán byl kamerový senzor s červeným LED osvětlením. Zákazník může dokoupit kryt



objektivu s infračerveným filtrem nebo polarizačním filtrem, který může pomoci při různých odlescích. Zajímavostí je možnost zakoupení příslušenství pro vytvoření kopulového světla, tzv. dome light. Toto příslušenství je ukázáno na Obr. 5, a funguje tak, že se pouze nasadí na kamerový senzor s integrovaným osvětlením, a ten ve spojení s touto součástí vytvoří efekt dome light, což může pomoci při nežádoucích odlescích. Dome light generuje nepřímé osvětlení ze všech směrů, a objekt je tak možno rovnoměrně osvětlit. Použití této metody je účinnější než použití polarizačního filtru. Má 6 digitálních vstupů a 4 digitální výstupy. Zvládne přepínat až mezi 32 programy pro různé inspekce a v paměti umí uchovat až 100 inspekčních snímků. Využívá komunikaci pomocí Ethernetu, konkrétně 100BASE-TX, což je tzv. Fast Ethernet s přenosovou rychlostí až 100 Mbit/s. Umí pracovat s protokoly FTP client, EtherNet/IP a PROFINET. U firmy Keyence lze pořídit i obdobný typ s barevným snímacím čipem. Ke kamerovým senzorům Keyence je možné také dokoupit inteligentní monitor, pomocí kterého lze senzor nastavit a není tak nutné mít u sebe PC se softwarem IV-Navigator. [42]



Obr. 4 Keyence IV-150MA – instalační vzdálenost [55]



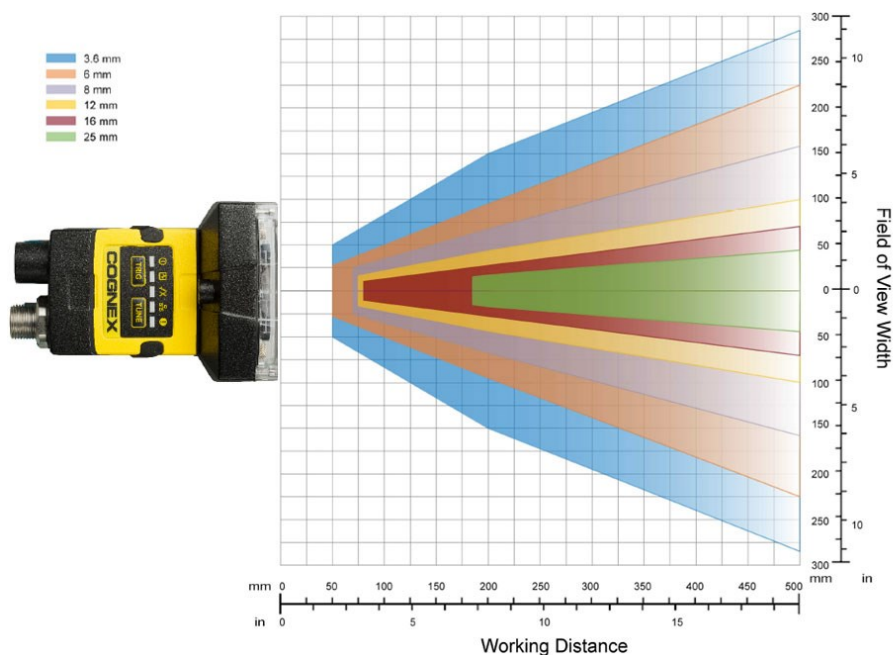
Obr. 5 Příslušenství pro vytvoření tzv. dome light [56]

#### 2.2.1.1 IV-Navigator

IV- Navigator je software pro nastavení a programování produktů firmy Keyence řady IV-H. Podporuje řadu světových jazyků, během testování byla používána angličtina. Software je možné spustit na PC s operačním systémem Windows 10, 7 a XP. Požadavky na PC nejsou nikterak náročné, u Windows 10 a 7 stačí, aby splňovaly nároky na spuštění samotného operačního systému, u Windows XP pak musí být paměť RAM alespoň 512MB a procesor Pentium III s frekvencí 1GHz. Na disku musí být pro instalaci alespoň 1GB volného místa. Pro správnou komunikaci je nutné mít rozhraní Ethernet 100 BASE-TX a mít nainstalovaný .NET Framework 4.0 nebo 4.5. [57]

### 2.2.2 Cognex In-Sight 2000-130

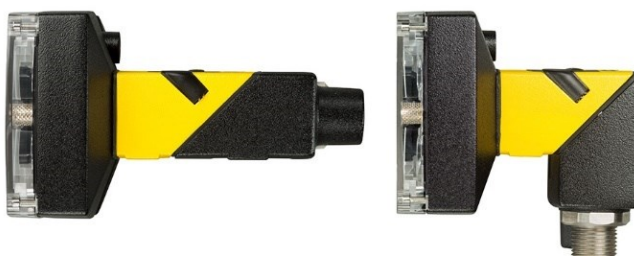
Druhým zvoleným kamerovým senzorem je monochromatický kamerový senzor od firmy Cognex, konkrétně model IS200M-130-40-125. Tento model je vhodný pro vzdálenost od objektu od 50mm do 500mm. Disponuje 1/3" snímacím senzorem typu CMOS s rozlišením 640 (H) x 480 (V) a má v základní variantě manuální ostření, za příplatek lze však také tento kamerový senzor vybavit automatickým ostřením. Tento kamerový senzor je specifický tím, že k němu Cognex má v nabídce širokou škálu příslušenství, a lze jej tak upravit na míru dané aplikaci. Disponuje vlastním osvětlením z LED, jejichž barvu lze specifikovat při objednávce, a lze je také jednoduše demontovat a nahradit jinou barvou LED. LED osvětlení je dostupné ve variantě bílé, červené, modré a infračervené. K dispozici je také množství vyměnitelných objektivů. Standardně je tato řada kamerových senzorů dodávána s objektivem S-Mount/M12 o průměru 8mm. Dále lze pořídit objektivy 3,6mm, 6mm, 12mm, 16mm a 25 mm. Na objektivy jsou dále k dispozici také různé druhy přidavných filtrů. Uživatel může také zvolit mezi standardním čířým krytem objektivu, nebo polarizačním krytem objektivu. Má 2 digitální vstupy a 4 digitální výstupy. Kamerový senzor má modulární tělo, a je možné ho používat ve dvou různých variantách, jak lze vidět na Obr. 8. Umí pracovat s protokoly EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, SLMP Scanner, Modbus TCP, TCP/IP, UDP, FTP, Telnet (Native Mode) a RS-232. [43]



Obr. 6 Cognex In-Sight 2000-130– instalační vzdálenost s různými objektivy [58]



*Obr. 7 Příslušenství k senzorům Cognex řady In-Sight 2000 [58]*



*Obr. 8 Modulární tělo kamerového senzoru [58]*

#### **2.2.2.1 In-Sight Explorer**

Pro práci s produkty značky Cognex řady In-Sight, a to od senzorů až po složité systémy strojového vidění, se využívá software In-Sight Explorer, kde je možné tyto produkty nastavovat a programovat. Tento software podporuje také více světových jazyků, při testování je použita angličtina. Software je možné spustit na PC s operačním systémem Windows 10, 7 a Server 2016. Minimální požadavky na PC jsou o něco náročnější, než u aplikace od firmy Keyence. Paměť RAM musí být alespoň 2GB, procesor Intel® Celeron® 1000 s frekvencí 1,8GHz. Na disku musí být pro instalaci alespoň 4GB volného místa. Je nutné mít síťovou kartu s rychlostí alespoň 100Mbps a mít nainstalovaný .NET Framework 4.5. [59]

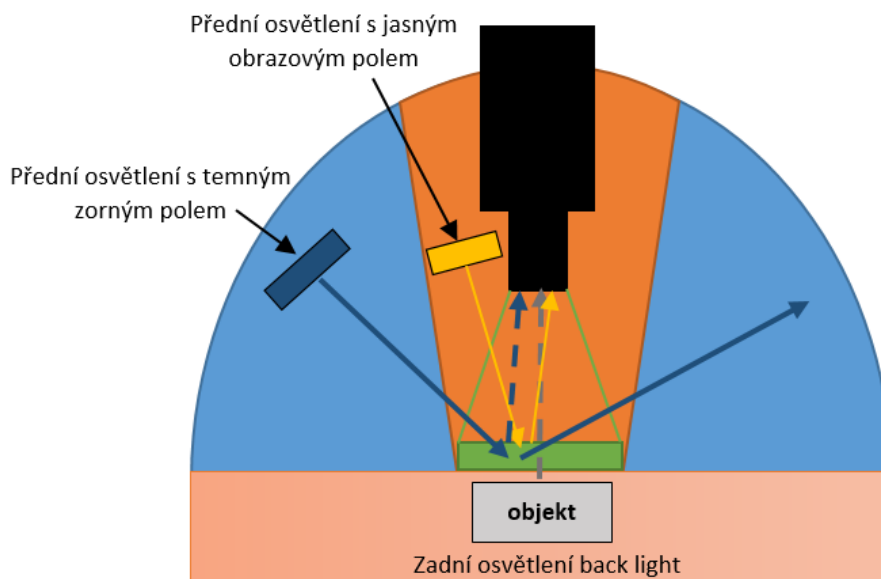
### 3 Osvětlení pro strojové vidění

Po zvolení kamerových senzorů, které budou testovány na různých úlohách, jsou zde představeny také základní druhy osvětlení pro strojové vidění. Správné osvětlení snímaného objektu je totiž velmi důležitým prvkem pro strojové vidění. Pomocí správného osvětlení se snažíme docílit maximálního možného kontrastu těch částí objektu, které jsou důležité pro správné vyhodnocení požadované inspekce a těch, které nás nezajímají. Správná volba osvětlení může být i důležitějším prvkem, než například investice do kamery s lepším rozlišením. Při volbě osvětlení je důležité brát v potaz charakteristiku snímaného objektu, kdy je dobré vědět jaký má objekt tvar, jakou má barvu a jaký je jeho povrch. [60]

#### 3.1 Geometrie osvětlení

Z hlediska geometrie lze osvětlovače dělit do několika základních skupin podle toho, jak dopadají paprsky světla na zkoumaný objekt. Geometrie osvětlení je ukázána na Obr. 9.

- **Přední osvětlení s jasným obrazovým polem**  
Základní typ osvětlení. Světelné paprsky dopadají na objekt a od něj se odráží do obrazového snímače kamery. [61]
- **Přední osvětlení s tmným zorným polem**  
Tento typ osvětlení využívá odrazu světelných paprsků do obrazového snímače od prvků, které z osvětleného objektu vystupují, nebo jsou naopak zapuštěny v objektu, jako například vrypy. Prvky, které jsou na rovné ploše objektu, odráží světlo mimo objektiv. [61]
- **Zadní osvětlení**  
Při tomto typu osvětlení je objekt nasvícen proti kameře. Vynikne tak obrys objektu, což je výhodné například pro měření rozměrů. [61]

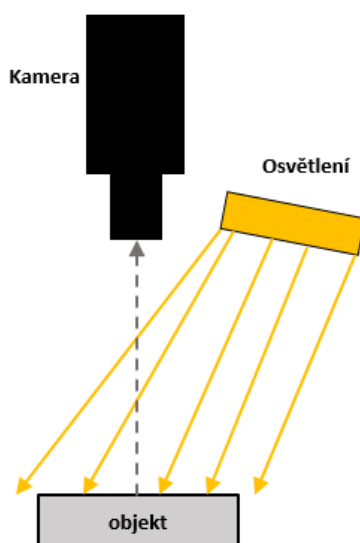


Obr. 9 Geometrie osvětlení

### 3.2 Typy osvětlení

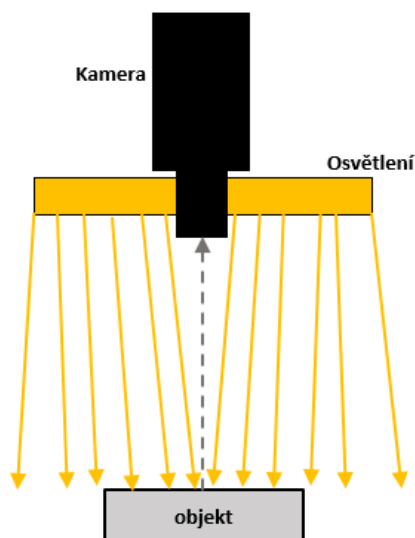
Při výběru typu osvětlení nejsou uživatelé nijak výrazně limitováni, protože výrobci těchto druhů osvětlení mají velmi širokou nabídku, ze které je možné volit různé velikosti, barvy i typy osvětlení. Využívá se především osvětlení pomocí LED, kvůli jejím příznivým vlastnostem. Je však možné využít i jiný princip osvětlení.

- **Plošná osvětlovací pole**  
Tento typ osvětlení vyzařuje směrové světlo, které je rozptýleno podle toho, jaké jsou použity LED a podle konstrukce celého osvětlovače. Využíváno je pro nenáročné úlohy nebo pro úlohy, kde je obtížné volit jiný typ osvětlení například kvůli konstrukci. [61]



*Obr. 10 Osvětlení typu plošného osvětlovacího pole*

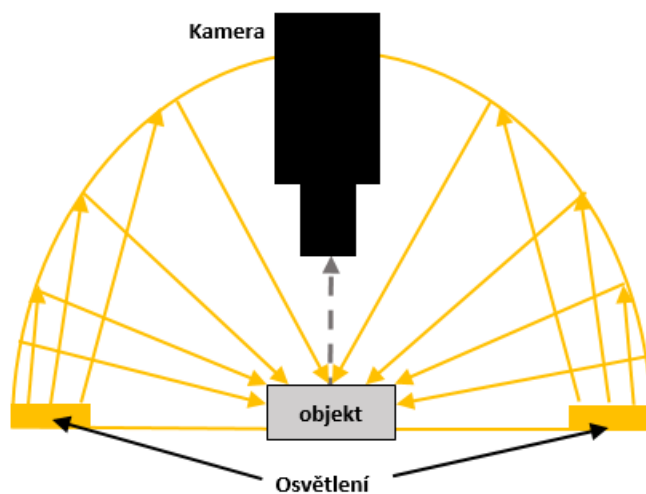
- **Kruhové osvětlovače**  
Díky kruhovým osvětlovačům lze získat osvětlení, které je více rozptýlené od samotné kamery směrem k objektu. Jedná se o typ osvětlení s jasným obrazovým polem, kdy světlo je rozptýleno. Některé typy kamer jsou tímto typem osvětlení vybaveny již od výroby, avšak zpravidla nedosahují takové kvality osvětlení jako speciální osvětlovače tohoto typu. [61]



*Obr. 11 Osvětlení typu kruhového osvětlovače*

- Kopulové osvětlovače

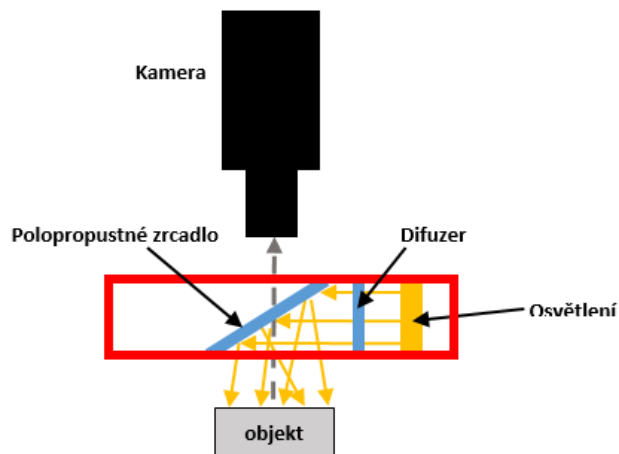
Typ osvětlení s jasným obrazovým polem. Světlo je rozptýleno po vnitřní stěně kopule. Díky tomuto typu osvětlení lze dosáhnout osvětlení objektu téměř bez stínů. [61]



*Obr. 12 Osvětlení typu kopulového osvětlovače*

- Koaxiální osvětlovače

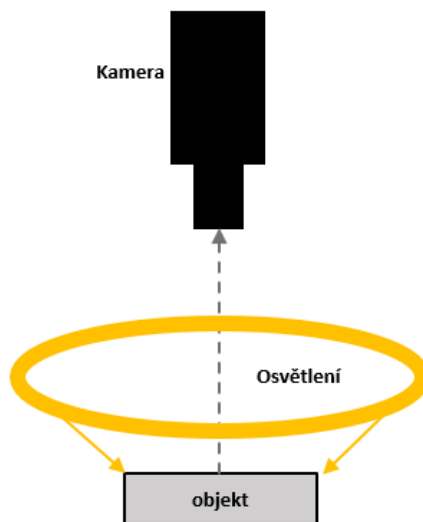
Speciální typ osvětlení s jasným obrazovým polem, kdy je světlo rozptýleno. U tohoto typu osvětlení je využíván difuzor, do kterého svítí zdroj světla. Difuzor zaručuje dobré rozptýlení světla do polopropustného zrcadla, od kterého se světlo rovnoměrně odráží na celý zkoumaný objekt a dopadá na něj i přímo z prostoru objektivu kamery. [61]



Obr. 13 Osvětlení typu koaxiálního osvětlovače

- Osvětlovače dark-field

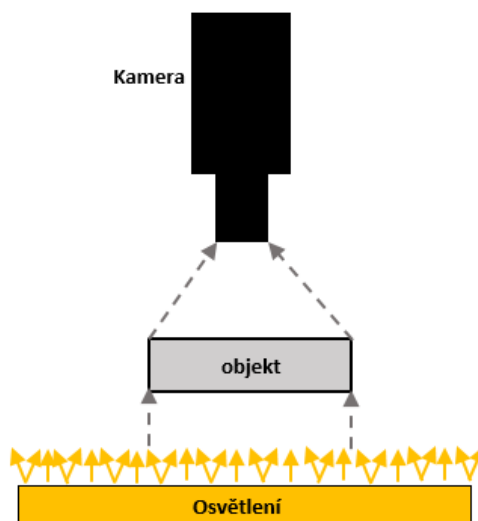
Typ předního osvětlení s temným zorným polem, kdy světlo je směřované takřka vodorovně ke zkoumanému objektu. Někdy bývá také označován jako DOAL. Osvětlení bývá často kruhové, kdy LED směřují do středu kruhu směrem k objektu. Využití je zejména při kontrole povrchových vad nebo kontrole vystouplých či naopak vyrytých znaků. [61]



Obr. 14 Osvětlení typu dark-field

- Osvětlovače backlight

Při tomto typu osvětlení je objekt nasvícen zespodu, naproti kameře. Pomocí tohoto typu osvětlení můžeme zvýraznit obrys objektu, díky čemuž lze snadno měřit rozměry, nebo při kontrole objektu v průhledném pouzdře, jako jsou například pojistky nebo žárovky. [61]



*Obr. 15 Osvětlení typu backlight*

Pro vylepšení obrazu je také možné využít různých druhů filtrů. Filtry lze pořídit například pásmové pro propuštění pouze části spektra a zlepšení kontrastu, polarizační filtry pro odstranění odlesků, barevné filtry pro propuštění pouze určitých druhů barev, neutrální filtry pro omezení intenzity světla, UV a IR CUT filtry pro zamezení propustnosti ultrafialového, respektive infračerveného záření, short-pass a long-pass filtry pro propuštění pouze kratších, respektive delších vlnových délek. Filtry je možné umístit na zdroj světla, kameru anebo na oba tyto prvky.



## 4 Testovací úlohy a porovnání vybraných kamerových senzorů

Po krátkém úvodu do osvětlení pro strojové vidění je možné přistoupit k samotným testům a následnému porovnání dvou vybraných inteligentních kamerových senzorů. Pro kompletní porovnání kamerových senzorů byly vybrány úlohy, které prověří oba kamerové senzory za různých podmínek. Bylo využito jak extérní, tak také integrované osvětlení kamerových senzorů. V kapitole je ukázáno, jak se ke kamerovému senzoru připojit, a také zde bude na jedné úloze ukázáno kompletní nastavení obou kamerových senzorů. Úlohy, které jsou zde k vidění, jsou takové, které je možné využít, nebo jsou v současnosti již využity v praxi. Výsledky úloh budou vyhodnoceny a poté budou oba kamerové senzory porovnány.

### 4.1 Porovnání

Kamerový senzor Keyence je vybaven červeným světlem, proto je i na kamerovém senzoru Cognex nasazeno, z dostupného příslušenství, světlo červené barvy. Objektiv na kamerovém senzoru Cognex je vyměnitelný, pro porovnávání bude však vždy použit objektiv 8 mm, který nejvíce odpovídá objektivu kamerového senzoru Keyence.

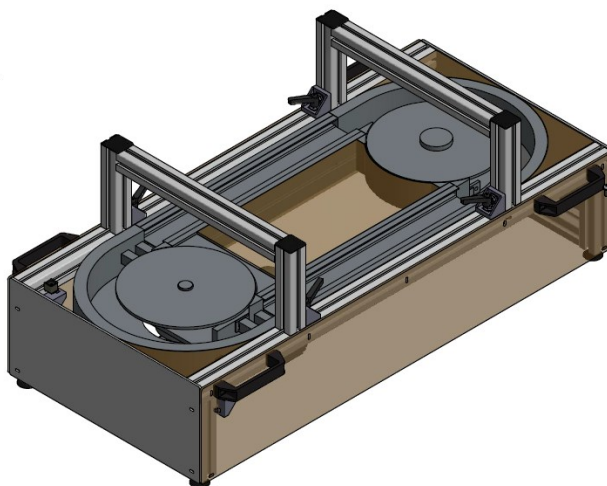
*Tab. 6 Porovnání kamerových senzorů Keyence IV H150 MA a Cognex In-Sight 2000-130*

Výrobce	Keyence IV H150 MA	Cognex In-Sight 2000-130
Počet programů	32 programů	Závisí na velikosti programu (max. 32MB)
Detekce tvaru	Ano	Ano
Počítání pixelů	Ano	Ano
Jas a kontrast	Ne	Ano
Hrany	Ano	Ano
Vzdálenost	Ano	Ano
Úhel	Ne	Ano
Průměr kruhu	Ano	Ano
Počítání hran	Ano	Ano

Kamerový senzor firmy Keyence má maximální počet programů 32, oproti tomu jeho konkurent od společnosti Cognex má omezený počet programů velikostí vnitřního úložiště, která je 32MB (testovací programy měly okolo 200-300kB). Co se týká vybavenosti z hlediska dostupných nástrojů pro vytváření inspekce, tak jak lze vidět v Tab. 6, je lépe vybaven kamerový senzor firmy Cognex, který umožňuje oproti kamerovému senzoru firmy Keyence i kontrolovat jas a kontrast a také měřit úhel. Celkově je možné s nástroji při vytváření inspekce v programu In-Sight Explorer více pracovat a dávají uživateli více možností než práce v softwaru IV-Navigator od firmy Keyence, ten je však snáze nastavitelný a rychleji se v něm zákazník dokáže zorientovat.

## 4.2 Kontrola průmyslových konektorů na pásovém dopravníku

Tato úloha je jednoznačně nejkomplexnější, proto na ní bude ukázáno připojení k napájení, nastavení kamerového senzoru i zobrazení výsledku inspekce. Pro napájení jsem využil napájecí zdroj Siemens SITOP 6EP1 334-3BA00A, který je využit i u všech ostatních úloh v této kapitole, a oba kamerové senzory připojil podle jejich dokumentace na napájení 24V. Toto napájení je využito i v ostatních úlohách. Pro sejmутí obrazu ve správnou chvíli bylo nutné připojit ke kamerovým sensorům i polohové senzory pro detekci výrobku na dopravníku. Jsou využity dva reflexní světelné snímače s potlačeným pozadím O8H214 od firmy ifm, které jsou u obou kamerových senzorů podle dokumentace spojené se vstupem trigger, který se stará o sejmутí snímku. Na dopravníku je pomocí upevňovacího příslušenství Balluff vytvořena konstrukce, na které jsou upevněny jak kamerové senzory, tak také světelné snímače. U této úlohy je také zakomponováno předání výsledků inspekce, kdy jsou vodiče propojeny žíly, které slouží k předání výsledku NOK inspekce s průmyslovými LED indikátory. LED indikátory se tedy rozsvítí, pokud je inspekce vyhodnocena jako NOK a simulují tak signál pro operátora, že výrobek není v pořádku. LED jsou umístěny v instalační krabici Schneider, která je upevněna na konstrukci pásového dopravníku.



*Obr. 16 Model pásového dopravníku*

Na Obr. 17 je vidět reflexní světelný snímač s potlačeným pozadím, který byl použit pro detekci toho, že jsou konektory přesně v té pozici, ve které má být prováděna inspekce.



*Obr. 17 Reflexní světelný snímač s potlačeným pozadím [62]*

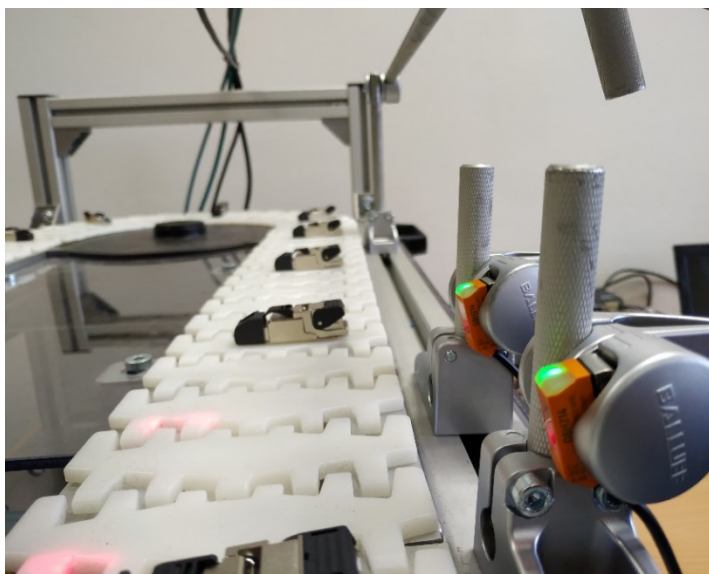
V této úloze byly kontrolovány průmyslové konektory RJ45, u kterých bylo nutné zajistit, aby neopouštěly výrobu bez krytek na konci konektoru, a také na konektorech musela být nalezena část, která slouží jako pojistka proti vysunutí zacvaknutého konektoru. Důležité bylo také zachytit špatně nasazené krytky. To bylo zajištěno kontrolováním vzdálenosti mezi hranou krytky a dobře viditelnou hranou konektoru, a také kontrolováním počtu pixelů na světlé ploše, která byla rozzářena pomocí integrovaného osvětlení, čímž vznikla jasně bílá plocha, kdy bylo možné oddělit tyto světlé pixely od tmavých. V praxi by stačilo využít pouze jeden z těchto nástrojů, pro následné porovnání obou kamerových senzorů jsou použity oba tyto nástroje. Při aplikacích strojového vidění je obecně důležité získat co možná největší kontrast mezi místy, která je nutné sledovat. Je tak možné získat jasně viditelnou hranu.

Vzhledem k tomu, že interní osvětlení kamerových senzorů v podobě červených LED bylo pro tento typ kontroly absolutně dostatečné, a také pro otestování interního osvětlení, není využito externího osvětlení.

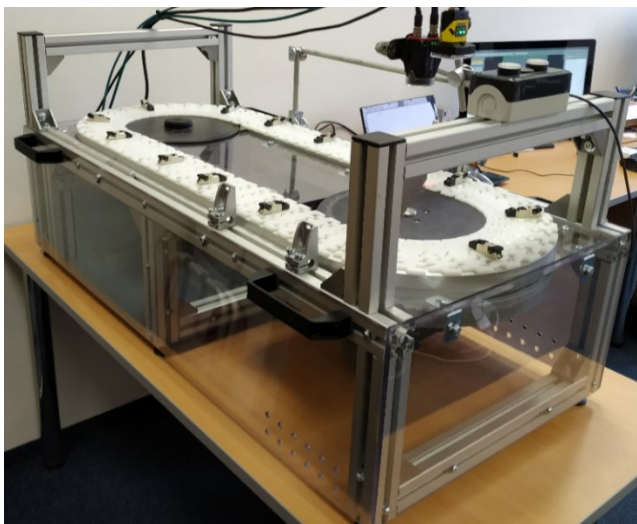
Při nastavení kamerových senzorů do vhodných poloh byla snaha je umístit tak, aby oba viděly stejně velkou část konektoru. Konektorů bylo na pásu umístěno celkem 14, a u části z nich jsou krytky konektorů buďto sundané nebo povytáhnuté do polohy, ve které by neměly opustit výrobní cyklus. Po nastavení inspekce byl pás spuštěn a vše bylo otestováno.

Po otestování bylo zjištěno, že oba tyto kamerové senzory jsou pro tuto úlohu vhodné a dostatečné. Použité řešení je dostatečně robustní a při opakovaných inspekcích nedocházelo k žádným chybám. Problém při této úloze může nastat, pokud by nebyla zajištěna přibližně stejná poloha všech kontrolovaných konektorů, protože kamerové senzory, které byly použity, nemají při své maximální pracovní vzdálenosti dostatečné zorné pole. Pro tuto úlohu však byly dostatečné.

Na Obr. 18 jsou ukázány snímače přítomnosti a konektory na pásovém dopravníku. Na Obr. 19 lze vidět celý pásový dopravník, oba použité kamerové senzory a také dvě signalizační LED, které jsou umístěny v průmyslové instalační krabici.



*Obr. 18 Kontrola konektorů na pásovém dopravníku*



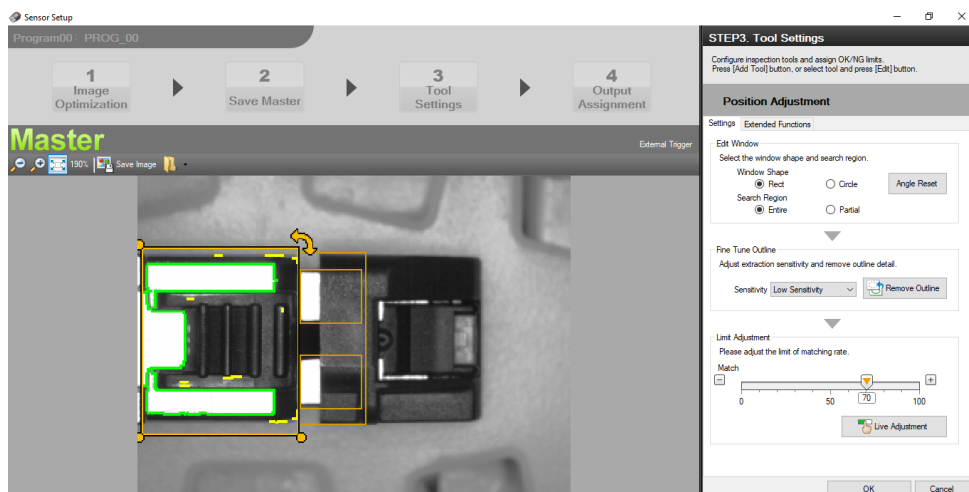
*Obr. 19 Pásový dopravník s kontrolovanými konektory*



*Obr. 20 Indikátory NOK stavů pro oba kamerové senzory*

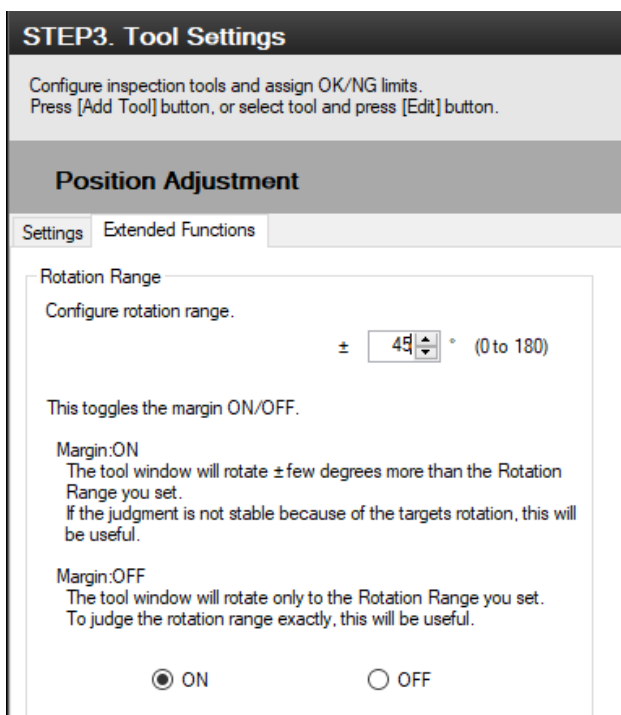
#### 4.2.1 Keyence

Prvním krokem je nastavení obrazu tak, aby byl kvalitně zaostřen, a aby bylo snadné nalézt potřebné hrany. Je tedy potřeba získat velký rozdíl mezi tmavou a světlou částí zkoumaného objektu. Prvním nástrojem, který je využit je Position Adjustment, který slouží k nalezení pojistky a zároveň slouží jako referenční bod pro další nástroje. Vzhledem k velmi dobrému nalezení hran je nastavena intenzita rozpoznání hran na nejnižší, tedy Low Sensitivity. Pomocí nástroje Remove Outline jsou odstraněny některé nedůležité nalezené hrany, a dále je nastavena procentuální shoda s původním snímkem. Při nastavení Position Adjustment je dobré se zaměřit na tu část zkoumaného objektu, který by měl mít za všech okolností stejný tvar. Na Obr. 21 lze vidět nastavení nástroje Position Adjustment.



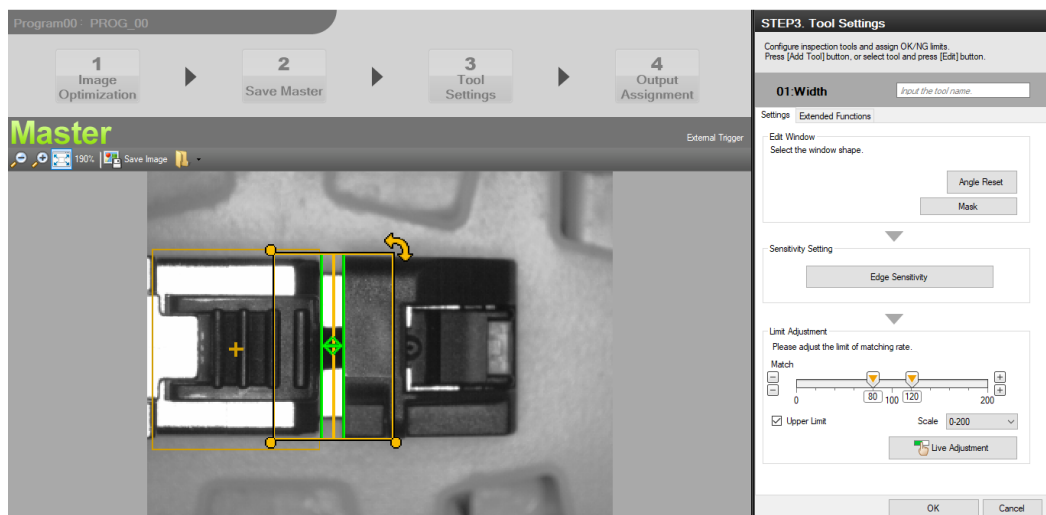
Obr. 21 Nastavení nástroje Position Adjustment

V záložce Extended Functions je poté možnost povolit rotaci. Jak je vidět na Obr. 22, maximální povolená rotace oproti původnímu snímku je nastavena na hodnotu  $\pm 45^\circ$ , čímž je zajištěno, že konektor bude na dopravníku správně nasměrován.



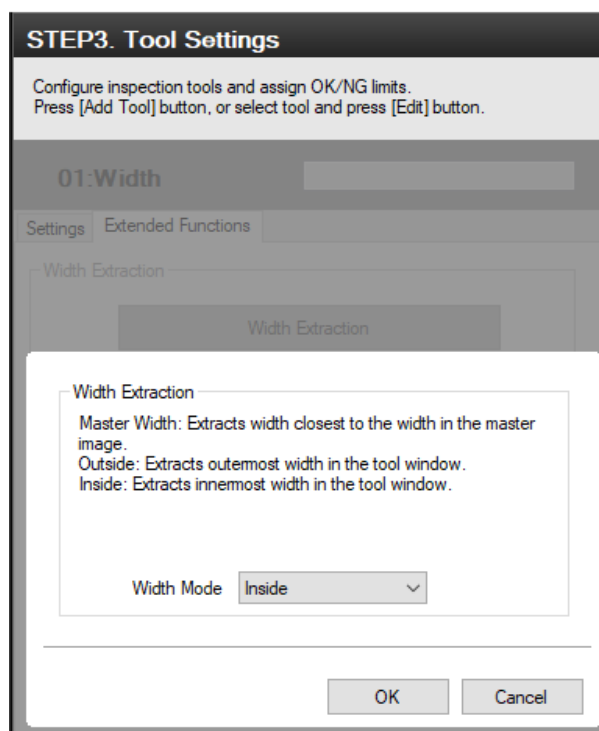
Obr. 22 Nastavení možné rotace oproti původnímu snímku

Nástrojem Width je nastaveno měření vzdálenosti mezi krytkou konektoru a dobře rozpoznatelnou hranou konektoru. Zaškrtnutím Uper Limit je povoleno, aby měření probíhalo i v hodnotách přes 100%, a je nastaveno rozmezí, kdy má být inspekce vyhodnocena jako OK. Nastavení pro měření vzdálenosti je vidět na Obr. 23.



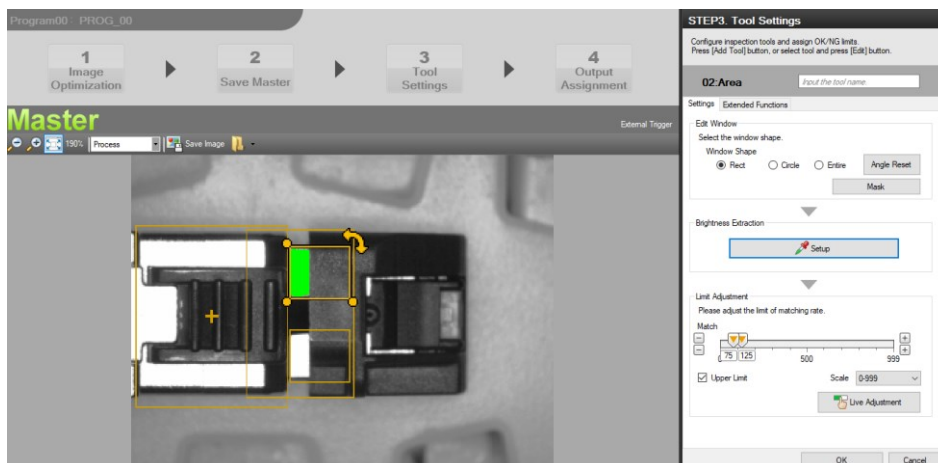
Obr. 23 Nastavení nástroje Width

Jak lze vidět na Obr. 24, v záložce Extended Functions je poté nastaveno Width Mode na Inside, čímž je zajištěno, že jsou měřeny dvě nejbližší nalezené hrany v určeném regionu, který je vždy orientován vzhledem k nalezené pozici pomocí funkce Position Adjustment.



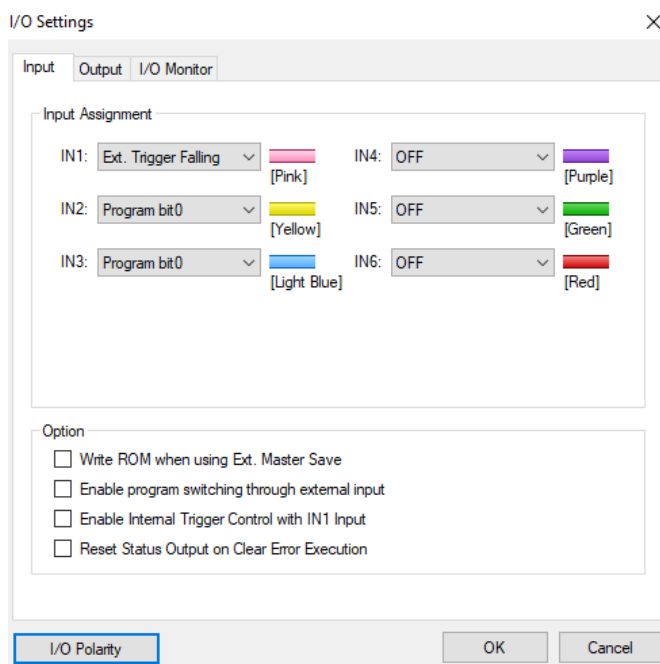
Obr. 24 Nastavení rozpoznávání hran

Funkcí Area probíhá počítání pixelů v určeném rozmezí intenzity, nastavení tohoto nástroje je na Obr. 25. Je nastavené ideální rozmezí, které zaručuje, že budou počítány téměř všechny světlé pixely z kovové části konektoru a žádný tmavý pixel z plastové krytky konektoru.



Obr. 25 Nastavení nástroje Area

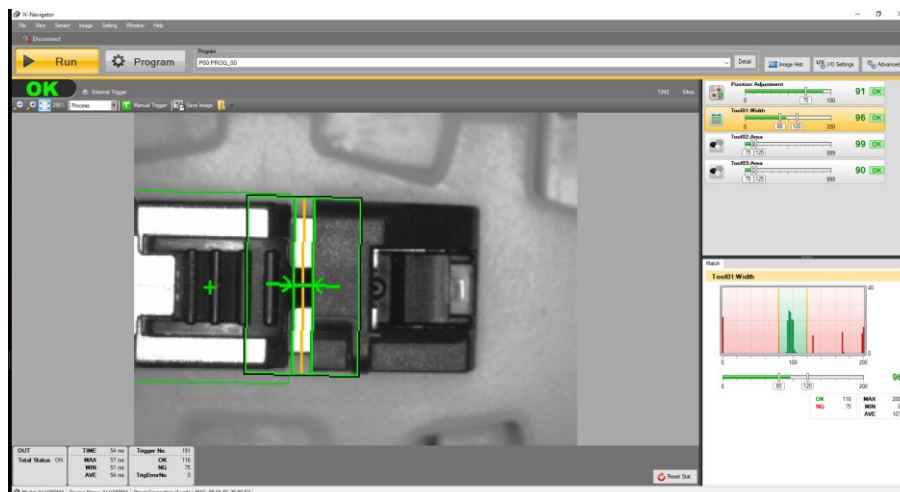
Dále je možné nastavit polaritu výstupů na NPN nebo PNP, čímž lze ovlivnit polarita hodnoty na výstupu. U tohoto, a každého dalšího příkladu v tomto dokumentu, je polarita zvolena na PNP. Uživatel má také možnost nastavit jednotlivé vstupy a výstupy, jak lze vidět na Obr. 26. Pokud je žádoucí snímat snímky podle externího signálu, tak jako v tomto případě podle výstupního signálu snímače polohy, je důležité při nastavení kamerového senzoru zvolit možnost External trigger.



Obr. 26 Nastavení vstupů a výstupů

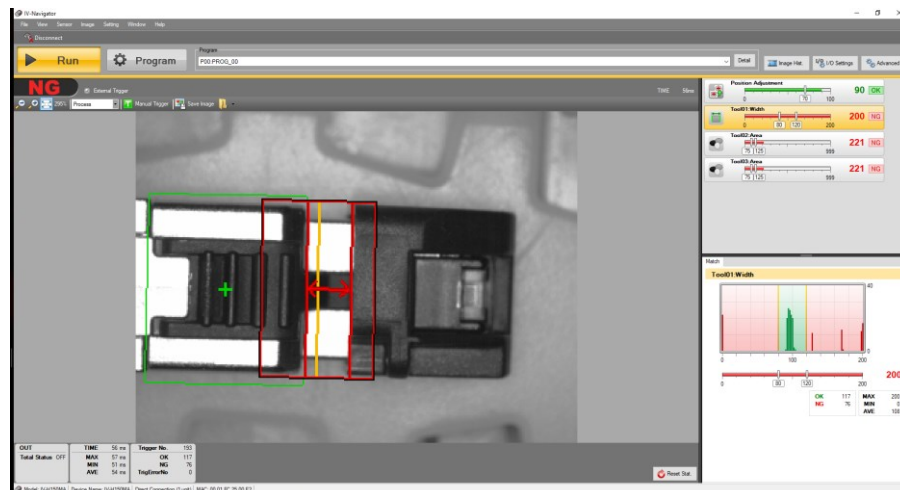
Na Obr. 27 je vidět snímek konektoru, který byl vyhodnocen jak OK. Je možné zde vidět, že všechny aspekty pro správné vyhodnocení byly splněny.





Obr. 27 Snímek konektoru vyhodnocen jako OK

Naopak na Obr. 28 je snímek konektoru vyhodnoceného jako NOK. Na snímku je sice nalezena pojistka proti vysunutí, avšak krytka konektoru není úplně zacvaknutá.

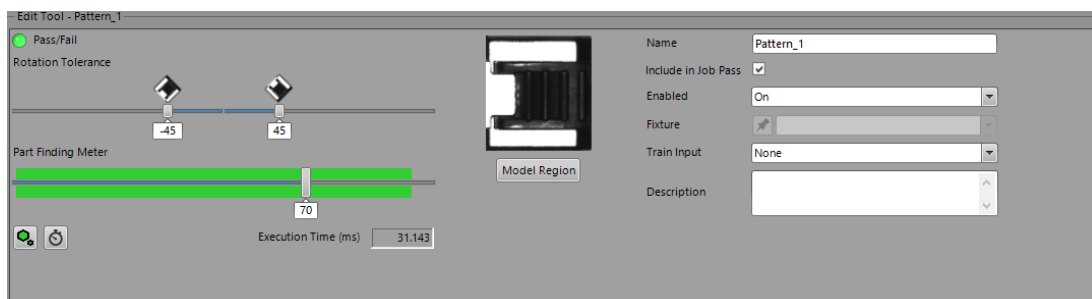


Obr. 28 Snímek konektoru vyhodnocen jako NOK

### 4.2.2 Cognex

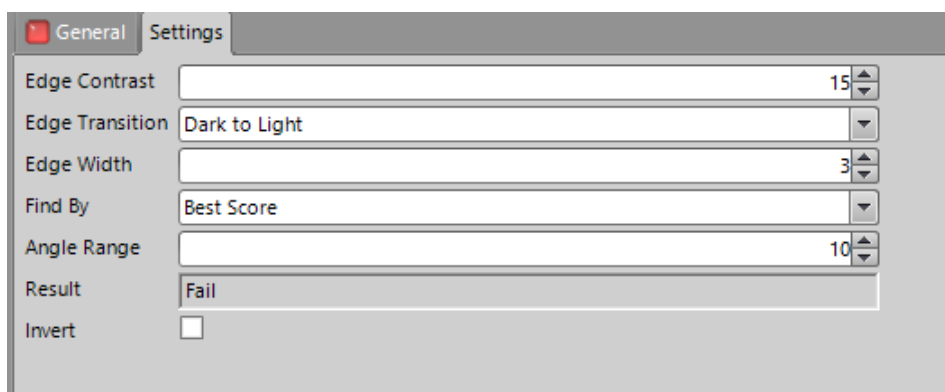
U kamerového senzoru Cognex byl také první krok nastavení obrazu tak, aby byl kvalitně zaostřen a aby bylo snadné nalézt hrany. Prvním nástrojem, který je zde využit, je nástroj Pattern, který je zaměřen na pojistku konektoru. Je nastavena procentuální shoda s původním snímkem a povolena rotace oproti původnímu snímku o  $\pm 45^\circ$ , jak lze vidět na Obr. 29.





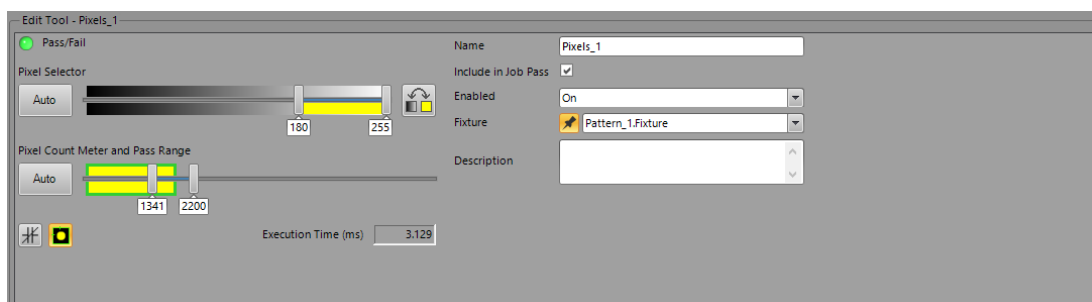
Obr. 29 Nastavení možné rotace oproti původnímu snímku

Poté jsou pomocí měřicí funkce nastaveny, obdobně jako u kamerového senzoru Keyence, hrany, mezi kterými bude měřena vzdálenost, a jsou nastaveny limity, kdy bude inspekce vyhodnocena jako OK a kdy jako NOK. Na Obr. 30 je vidět jak je možné v prostředí In-Sight Explorer nastavit rozpoznání hran. Byl zvolen přechod hran z tmavé na světlou, tím je zajištěno, že budou rozpoznávány správné hrany.



Obr. 30 Nastavení rozpoznávání hran

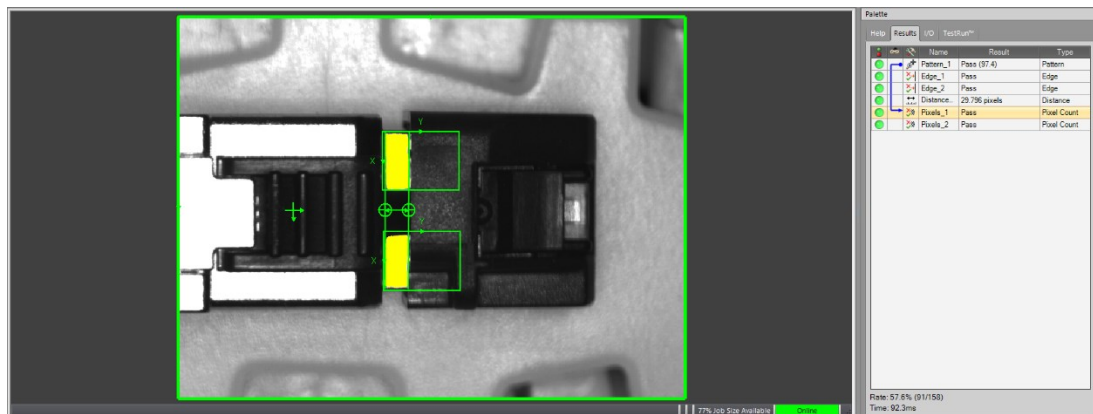
Funkcí Pixel Count je nastaveno počítání pixelů na světlé ploše konektoru. Rozmezí hodnot pixelů, které jsou počítány, je nastaveno stejně jako u kamerového senzoru Keyence. Stejně jako u tohoto nástroje, tak i u předchozího je nastaveno, že je fixován k nástroji Pattern1, a je tak zajištěno, že nástroj Pattern1 je referenční bod pro ostatní nástroje. Je tím docíleno toho, že měření i počítání pixelů budou prováděny na požadovaném místě konektoru. U kamerového senzoru Keyence tuto funkci není třeba nastavovat, všechny nástroje jsou totiž k funkci Position Adjustment fixovány automaticky a nejde to změnit. U kamerového senzoru Cognex si uživatel si může vybírat, který nástroj je na který vzájemně fixován, v tomto bodu tak dopřává software firmy Cognex uživateli více volnosti než software firmy Keyence. Nastavení funkce Pixel Count je vidět na Obr. 31.



Obr. 31 Nastavení nástroje Pixel Count

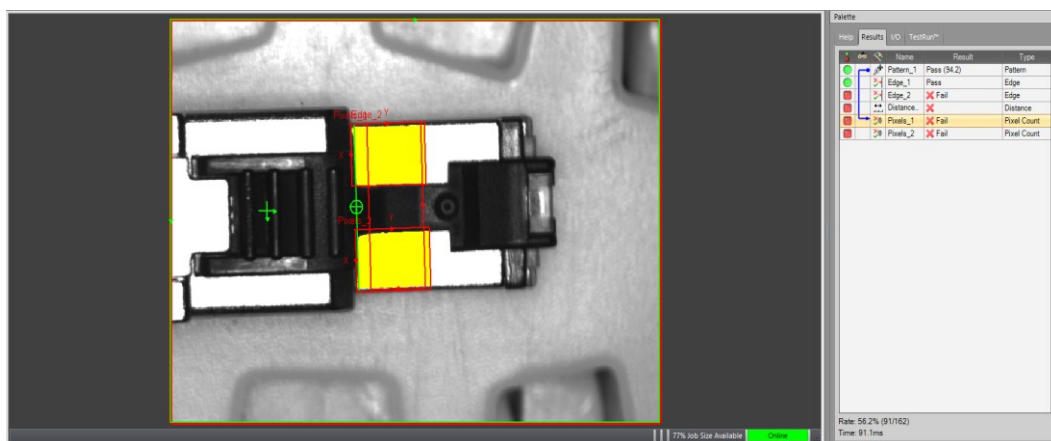
Důležitou věcí při propojení tohoto kamerového senzoru se snímačem je nastavení funkce Trigger na Camera, v jiném případě kamera nebude snímat snímky podle signálu ze snímače polohy.

Na Obr. 32, který je níže, lze vidět snímek konektoru vyhodnoceného jako OK. Všechny nástroje jsou vyhodnoceny jako OK.



Obr. 32 Snímek konektoru vyhodnocen jako OK

Na Obr. 33 je snímek konektoru vyhodnoceného jako NOK. Na snímku je nalezena pojistka proti vysunutí a také jedna z hran, mezi kterými je měřena vzdálenost mezi krytkou a pevnou částí konektoru, není však nalezena hrana krytky a také počet světlých pixelů v určeném je příliš vysoký.



Obr. 33 Snímek konektoru vyhodnocen jako NOK

### 4.2.3 Vyhodnocení

Kamerový senzor Keyence dokáže porovnávat pomocí všech nástrojů pouze v procentuální hodnotě v porovnání s referenčním snímek, kdežto kamerový senzor Cognex dokáže u nástroje pro měření vzdáleností měřit v pixelech, milimetrech, centimetrech a palcích, a u nástroje pro počítání pixelů o určité jasové úrovni dokáže přesně počítat pixely v nastaveném rozmezí. Před samotným vyhodnocením byly všechny výsledky z kamerového senzoru Cognex, obdobně jako tomu je u kamerového senzoru Keyence, přepočítány na procentuální hodnoty v porovnání s referenčním snímek.

Při celkovém vyhodnocení tohoto testu byl nejdříve proveden Grubbsův test odlehlých hodnot, aby bylo zaručeno, že případné odlehlé hodnoty budou vyřazeny. Tento test byl proveden u všech

konektorů, které byly vybrány pro následné porovnání, a to jak pro ověření pomocí měřící funkce, tak i pro ověření pomocí počítání pixelů určitých hodnot. Konektory pro porovnání byly vybrány tak, aby hodnoty byly co možná nejrozmantější.

Grubbsův test je založen na testování hypotéz, kdy hypotéza  $H_0$  říká, že výběrový soubor neobsahuje tyto odlehlé hodnoty, a naopak hypotéza  $H_1$  říká, že soubor hodnot obsahuje hodnoty, které jsou odlehlé. Tento test je popsán v ČSN 01 0222. Nejdříve je důležité seřadit soubor hodnot, které jsou testovány, od nejmenšího po největší. Dále je nutné vypočítat empirické charakteristiky  $\bar{x}$  a  $s$ , kdy  $\bar{x}$  je střední hodnota a  $s$  je směrodatná odchylka střední hodnoty pro výběrový soubor dat, která představuje odhad střední hodnoty chyby měření. Střední hodnota  $\bar{x}$  je nejlepší odhad výsledku měření a lze vypočítat podle vzorce (1), výběrová směrodatná odchylka poté podle vzorce (2). [63]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$n$  – počet měření

$x_i$  – naměřená hodnota

Následně jsou, pro účely Grubbsova testu, vypočítány hodnoty  $U_1$  a  $U_n$  podle vztahů (3) a (4).

$$U_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s} \quad (3)$$

$$U_1 = \frac{\bar{x} - x_n}{s} \quad (4)$$

Je nutné v tabulkách vybrat kritickou hodnotu  $h$  podle hladiny významnosti  $\alpha$ , která je zvolena pro tento případ na  $\alpha = 0,01$ . Kritická hodnota  $h$  pro tuto hladinu významnosti a počet měření  $n = 10$  odpovídá hodnotě  $h = 2,540$ . Tato hodnota je následně porovnávána s  $U_n$  a  $U_1$ . V případě, že je  $U_n \geq h$ , tak  $x_n$  je odlehlá hodnota, pokud je  $U_1 \geq h$ , tak  $x_1$  je odlehlá hodnota. Pokud je  $x_n$  odlehlá hodnota, dále se testuje odlehlost  $x_{n-1}$ , pokud je odlehlá hodnota  $x_1$ , dále se testuje hodnota  $x_2$ . Odlehlé hodnoty z výběrového souboru je dobré vyloučit. Tímto způsobem se postupuje tak dlouho, dokud nejsou vyloučeny všechny odlehlé hodnoty. V této úloze se žádné odlehlé hodnoty nevyskytovaly. [63]

Po vypočtení střední hodnoty a výběrové směrodatné odchylky je možné výsledek zapsat ve tvaru  $\bar{x} \pm s$ . U normálního rozdělení hodnot lze prohlásit, že pravděpodobnost, že další výsledek měření bude právě v tomto intervalu, je přibližně 68%. Výběrovou směrodatnou odchylku je možné použít, pokud chceme zjistit pravděpodobnost pro jedno další měření s tím, že větší počet měření tento výsledek neovlivňuje. Toto tvrzení je však rozporu s tím, že zvětšující počet měření zpřesní výsledek. Je tedy možné do výpočtu zanést i větší počet měření použitím výpočtu pro výběrovou směrodatnou

odchylku střední hodnoty, která je vypočtena pomocí vzorce (5). Výběrová směrodatná odchylka střední hodnoty je tedy výběrová směrodatná odchylka daného souboru měření, vypočítána pro  $n$  měření. Zvětšením počtu měření je tedy možné interval zmenšit. Větší počet měření však nemá vliv na zmenšení systematické chyby ve výsledku. [64]

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Výsledek lze následně uvést ve tvaru (6).

$$x = \bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Pro účely vyhodnocení nejistoty optické kontroly je vypočtena také nejistota typu A, pomocí rovnice (7).

$$u_{Ax} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

Mezi vypočtené parametry patří také variační rozpětí, které je rozdílem maximální a minimální hodnoty v daném měření (8). [63]

$$V = x_{max} - x_{min} \quad (8)$$

$x_{max}$  – maximální hodnota v daném měření

$x_{min}$  – minimální hodnota v daném měření

Byla určena i opakovatelnost měření pro jednotlivé konektory. Opakovatelnost měření lze definovat jako shodnost měření v podmínkách opakovatelnosti, měření tedy musí provádět stejný operátor, musí být použita stejná metoda měření, měření musí probíhat na stejném místě a v co možná nejkratším časovém úseku. Shodnost, respektive opakovatelnost měření, je možné vyjádřit pomocí směrodatné odchylky  $\sigma$ , která se vynásobí konstantou 5,15 případně 6, čímž je získána oblast skutečné variability výsledků měření. Shodnost měření, případně opakovatelnost měření, charakterizuje působení náhodných chyb při daném měření. Výpočet směrodatné odchylky pro základní soubor naměřených hodnot, tedy pro všechny naměřené hodnoty, je uveden ve vzorci (9). Pro výběrový soubor hodnot, tedy část naměřených hodnot z daného měření, je uváděna výběrová směrodatná odchylka (2). [65]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

Výsledky v této tabulce jsou vypočteny z deseti naměřených hodnot pro každý konektor. Výsledky byly zapsány do Tab. 7 pro vyhodnocení pomocí nástroje pro měření rozměrů, a do Tab. 8 pro vyhodnocení pomocí nástroje pro počítání pixelů o určené intenzitě.

Tab. 7 Vyhodnocení pomocí nástroje pro měření rozměrů

Nástroj pro měření rozměrů	OK konektory			NOK konektory	
Keyence	1.konektor	2.konektor	3.konektor	4.konektor	5.konektor
Střední hodnota [%]	99,90	110	105,20	195	194,10
Výběrová směrodatná odchylka [%]	0,32	0	0,63	0	0,57
Nejistota typu A [%]	0,10	0	0,20	0	0,18
Variační rozpětí rozměry [%]	1	0	2	0	2
Opakovatelnost [%]	1,63	0	3,26	0	2,92
	OK konektory			NOK konektory	
Cognex	1.konektor	2.konektor	3.konektor	4.konektor	5.konektor
Střední hodnota [%]	100,00	113	91,90	185,30	182,50
Směrodatná odchylka [%]	0,47	0	1,10	0,67	0,97
Nejistota typu A [%]	0,15	0	0,35	0,21	0,31
Variační rozpětí rozměry [%]	2	0	3	2	3
Opakovatelnost [%]	2,43	0	5,67	3,48	5,00

Tab. 8 Vyhodnocení pomocí nástroje pro počítání pixelů

Nástroj pro počítání pixelů	OK konektory			NOK konektory	
Keyence	1.konektor	2.konektor	3.konektor	4.konektor	5.konektor
Střední hodnota [%]	99,00	114,70	102,20	205,40	194,10
Výběrová směrodatná odchylka [%]	1,70	1,06	2,82	1,43	3,13
Nejistota typu A [%]	0,54	0,33	0,89	0,45	0,99
Variační rozpětí pixely [%]	4	3	8	5	10
Opakovatelnost [%]	8,75	5,46	14,53	7,36	16,11
	OK konektory			NOK konektory	
Cognex	1.konektor	2.konektor	3.konektor	4.konektor	5.konektor
Střední hodnota [%]	99,10	117,80	102,30	190,20	195,20
Směrodatná odchylka [%]	0,57	0,92	1,06	0,42	0,63
Nejistota typu A [%]	0,18	0,29	0,33	0,13	0,20
Variační rozpětí pixely [%]	2	3	4	1	2
Opakovatelnost [%]	2,92	4,73	5,46	2,17	3,26

V tabulkách jsou zapsány střední hodnoty, výběrové směrodatné odchylky, nejistoty typu A, variační rozpětí a také opakovatelnost. Z tabulek lze vyčíst, že téměř u všech konektorů, při použití nástroje pro měření rozměrů, byl kamerový senzor firmy Keyence lepší ve všech ohledech, kromě druhého konektoru, kdy byly výsledky obou kamerových senzorů totožné.

Naopak při použití funkce pro počítání pixelů byly u druhého konektoru vyhodnoceny stejné hodnoty variačního rozpětí pro oba kamerové senzory, u všech ostatních hodnot vyšel z porovnání lépe

kamerový senzor firmy Cognex, a to všech zkoumaných konektorů. Rozdíly mezi oběma senzory však nejsou nijak velké, jak se lze přesvědčit z tabulek.

Výrazné rozdíly ve správnosti vyhodnocení mezi OK a NOK kusy nebyly zaznamenány.

Byla určena také strannost  $\hat{B}$  systému měření pro referenční konektor, u kterého je známá jeho referenční hodnota. Strannost byla vyhodnocena z 25 měření, pro oba inspekční nástroje v Tab. 9. Určuje správnost měření, a je to rozdíl střední hodnoty a hodnoty, která je přijata za referenční. Strannost měření vyjadřuje systematickou chybu. Význam strannosti a shodnosti (opakovatelnosti) měření je znázorněn na Obr. 34.

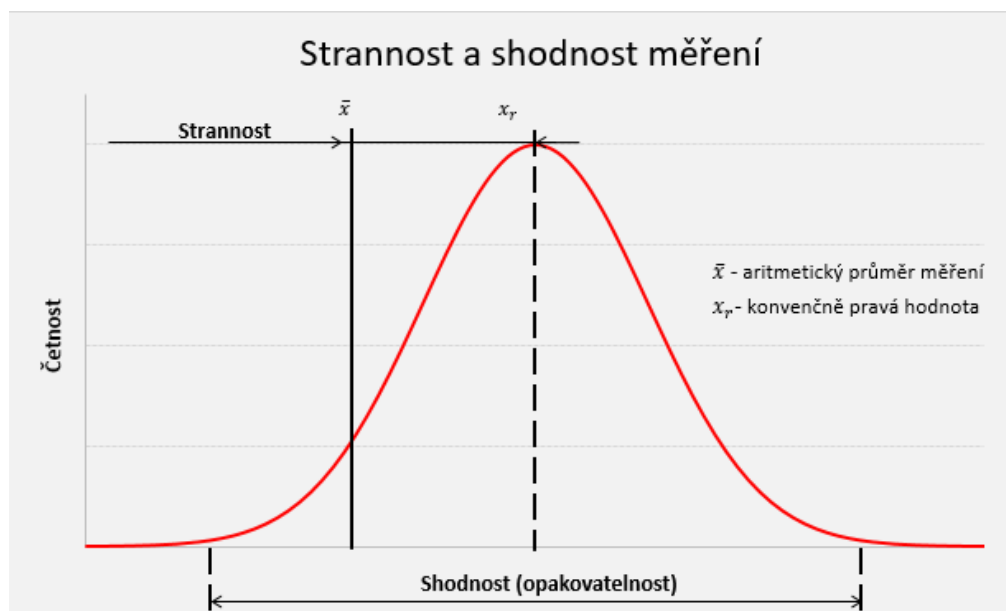
$$\hat{B} = \bar{x} - x_r$$

$x_r$  – přijatá referenční hodnota

Tab. 9 Strannost měření pro referenční konektor a oba inspekční nástroje

Keyence	1.konektor
Strannost - měření rozměrů [%]	-0,04
Strannost - počítání pixelů [%]	-0,88
Cognex	1.konektor
Strannost - měření rozměrů [%]	-0,44
Strannost - počítání pixelů [%]	-0,96

Z tabulky je patrné, že strannost měření je v obou případech nižší u kamerového senzoru Keyence, u kterého je strannost při použití nástroje pro měření rozměrů minimální, konkrétně má hodnotu 0,04%, pro druhý z nástrojů je hodnota 0,88%. U kamerového senzoru Cognex jsou tyto hodnoty o něco vyšší, pro první nástroj je to 0,44% a nástroj pro počítání pixelů o určené intenzitě 0,96%.



Obr. 34 Strannost a shodnost měření pro normální rozdělení hodnot

Ve výsledku se dá říct, že oba kamerové senzory splnily tuto úlohu bez problémů, a je možné je na tento typ úlohy použít. Při porovnání nástrojů, byl kamerový senzor Keyence lepší v porovnání s kamerovým senzorem Cognex u prvního z použitých nástrojů, tedy u nástroje pro měření rozměrů. U nástroje pro počítání pixelů o určité jasové úrovni byl úspěšnější kamerový senzor Cognex. Při určení strannosti měl lepší výsledky pro oba použité nástroje kamerový senzor Keyence.

Dále byla u této úlohy vyhodnocena způsobilost daného měřicího systému pomocí indexu způsobilosti, který umožňuje vyhodnotit strannost a shodnost měření, díky tomu lze určit, zda je tento typ měření vhodný pro zvolené toleranční rozpětí. Konektor, na kterém byly prováděny měření má hodnoty uprostřed tolerančního rozpětí, a jedná se o referenční konektor. Bylo provedeno celkem 25 měření každým z kamerových senzorů. Po ověření, že naměřené hodnoty nejsou ovlivněny nenáhodnými vlivy, a nenesou tedy znaky periodicky se opakujících hodnot, špičkových hodnot apod., byly spočítány indexy způsobilosti  $C_g$  a  $C_{gk}$ , které se podle firmy Bosch počítají podle vzorců (10) a (11). [65]

$$C_g = \frac{0,2 * (USL - LSL)}{6 * \sigma_g} \quad (10)$$

$$C_{gk} = \frac{0,1 * (USL - LSL) - |x_r - \bar{x}|}{3 * \sigma_g} \quad (11)$$

$USL$  – horní toleranční mez

$LSL$  – dolní toleranční mez

$\sigma_g$  – směrodatná odchylka

$x_r$  – přijatá referenční hodnota

$\bar{x}$  – aritmetický průměr

Index způsobilosti  $C_g$  pracuje obecně se shodností měření, v podmínkách opakovatelnosti pracuje s opakovatelností měření. Index způsobilosti  $C_{gk}$  pracuje se shodností (opakovatelností) i se stranností. Index způsobilosti  $C_{gk}$  musí být menší nebo rovný indexu způsobilosti  $C_g$  (12). [65]

$$C_{gk} \leq C_g \quad (12)$$

Aby mohl být systém měření vyhodnocen jako způsobilý, je nutné, aby index způsobilosti  $C_{gk}$  byl větší nebo roven hodnotě 1,33. To je zajištěno také splněním nerovnosti (13). Tato nerovnost byla splněna pro oba kamerové senzory u obou typů kamerových inspekci. [65]

$$6 * \sigma_g \leq 0,15 * (USL - LSL) - 1,5 * |x_r - \bar{x}| \quad (13)$$

Ze vzorce vyplývá, že opakovatelnost měření  $6 * \sigma_g$  musí být menší nebo rovna 15% z tolerančního rozsahu, poté lze prohlásit, že systém je způsobilý k provádění tohoto měření. [65]

Jak lze vidět v Tab. 10, při původním nastaveném tolerančním rozsahu OK kusů na 80-120% oproti referenčnímu snímku pro vyhodnocení pomocí měření rozměrů, a 75-125% oproti referenčnímu snímku pro vyhodnocení pomocí počítání pixelů, nebyly hodnoty indexu způsobilosti  $C_{gk}$  větší nebo rovny hodnotě 1,33. Z toho důvodu, a po detailním prozkoumání výsledků, bylo rozhodnuto toleranční rozsah rozšířit, a to pro vyhodnocení pomocí měření rozměrů na 75-125% a pro vyhodnocení pomocí počítání pixelů na 50-130%. I při tomto změněném tolerančním rozsahu jsou rozdělovány OK a NOK kusy správným způsobem, hodnota nejbližšího konektoru, který by měl být vyhodnocen jako NOK je totiž nad hranicí 140% pro oba způsoby vyhodnocení. Po této změně již byl index způsobilosti  $C_{gk}$  větší než 1,33, jak lze vidět v Tab. 11, a je tak možné oba způsoby měření, s oběma kamerovými senzory, prohlásit za způsobilé.

Tab. 10 Hodnocení systému měření pro původní toleranční rozsahu

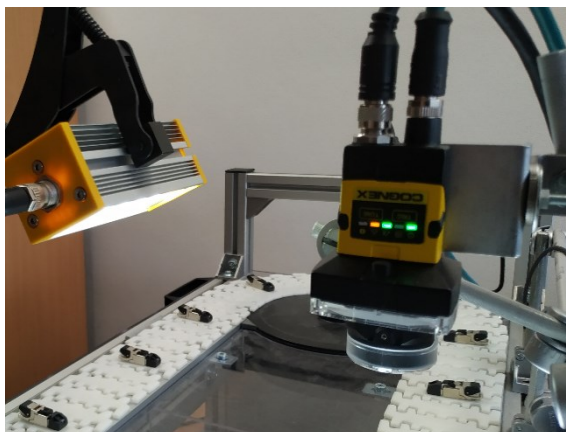
Hodnocení systému měření	Keyence	Cognex
Index způsobilosti $C_g$ rozměry	6,8	1,4
Index způsobilosti $C_g$ pixely	1,0	3,2
Index způsobilosti $C_{gk}$ rozměry	6,7	1,2
Index způsobilosti $C_{gk}$ pixely	0,8	2,6

Tab. 11 Hodnocení systému měření pro upravený toleranční rozsahu

Hodnocení systému měření	Keyence	Cognex
Index způsobilosti $C_g$ rozměry	8,5	1,7
Index způsobilosti $C_g$ pixely	1,5	5,1
Index způsobilosti $C_{gk}$ rozměry	8,4	1,5
Index způsobilosti $C_{gk}$ pixely	1,4	4,4

#### 4.2.4 Proměnlivé světelné podmínky

Tato úloha byla testována i při proměnlivých světelných podmínkách, které byly uměle vytvořeny pomocí parazitního osvětlení, konkrétně se jednalo o osvětlení značky Effilux, řady EFFI-Flex, kterým byly konektory parazitně nasvíceny. Parazitní osvětlení bylo u obou kamerových senzorů stejně silné. Vyhodnocení proběhlo pro referenční konektor. Tímto testem lze zjistit, jak se budou kamerové senzory chovat, pokud budou výrazným způsobem změněny světelné podmínky.



Obr. 35 Parazitní osvětlení



Software IV-Navigator, firmy Keyence, disponuje navíc oproti systému In-Sight Explorer, firmy Cognex, funkcí jasové korekce, která automaticky kompenzuje změnu jasu. S kamerovým senzorem Keyence tedy bylo provedeno dvojí měření, jednou bez použití této funkce, a jednou s touto funkcí.

Bylo provedeno vyhodnocení, jako v kapitole 4.2.3, byly tedy vypočteny střední hodnoty, výběrové směrodatné odchylky, nejistoty typu A, variační rozpětí, opakovatelnost a také strannost, a to pro oba použité nástroje. V tabulkách jsou výsledky z šesti měření.

*Tab. 12 Test parazitního osvětlení – nástroj pro měření rozměrů*

Test parazitního osvětlení - měření rozměrů	Keyence bez korekce jasu	Keyence s korekcí jasu	Cognex
<b>Střední hodnota [%]</b>	100	100	99,00
<b>Výběrová směrodatná odchylka [%]</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,75
<b>Nejistota typu A [%]</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0,31
<b>Variační rozpětí [%]</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	2
<b>Opakovatelnost [%]</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	3,88
<b>Strannost [%]</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-0,83

*Tab. 13 Test parazitního osvětlení – nástroj pro počítání pixelů*

Test parazitního osvětlení - počítání pixelů	Keyence bez korekce jasu	Keyence s korekcí jasu	Cognex
<b>Střední hodnota [%]</b>	99,80	94,50	100,30
<b>Výběrová směrodatná odchylka [%]</b>	1,72	1,05	<b>0,52</b>
<b>Nejistota typu A [%]</b>	0,70	0,43	<b>0,21</b>
<b>Variační rozpětí [%]</b>	5	3	<b>1</b>
<b>Opakovatelnost [%]</b>	8,87	5,40	<b>2,66</b>
<b>Strannost [%]</b>	<b>-0,17</b>	-5,50	0,33

Z tabulek lze vyčíst, že kamerový senzor Keyence si s vyhodnocením pomocí nástroje pro měření rozměrů poradil bez problémů a všechny hodnoty, kromě střední hodnoty, jsou nulové, a to u měření s korekcí i bez korekce jasu. Výsledky tohoto kamerového senzoru jsou dokonce lepší, než bez parazitního osvětlení, to může být dáno menším počtem měření pro tento test parazitního osvětlení. U kamerového senzoru Cognex jsou tyto hodnoty vyšší, kromě variačního rozpětí, které má stejnou hodnotu jako vyhodnocení bez parazitního osvětlení. U vyhodnocení pomocí počítání pixelů jsou výsledky odlišné. Kamerový senzor Cognex má menší hodnotu výběrové směrodatné odchylky, nejistoty typu A, variačního rozpětí i opakovatelnost než kamerový senzor Keyence, ten měl však nejmenší hodnotu strannosti při měření bez korekce jasu. Při srovnání kamerového senzoru Keyence bez korekce jasu a s použitím této funkce jsou výsledky takové, že při použití funkce pro korekci jasu jsou téměř všechny vynesené hodnoty nižší, a výsledky jsou tedy stabilnější než při vyhodnocování bez této funkce. Jediná hodnota, která je s korekcí jasu horší, je strannost měření.

### 4.3 Kontrola rozměrů sponek

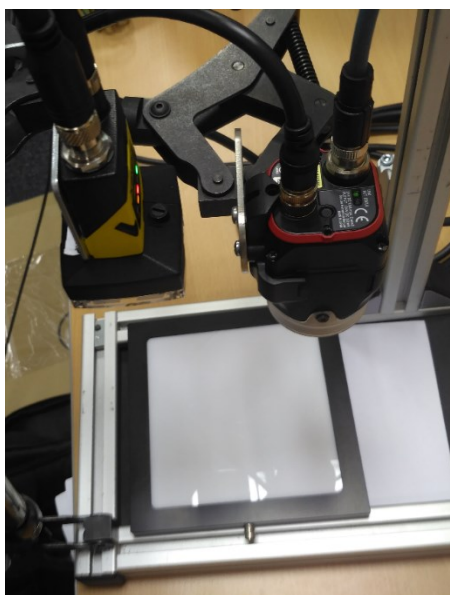
U této úlohy bylo porovnáno měření vzdáleností s oběma kamerovými senzory, a to na úloze z průmyslového prostředí, kterou je kontrola kovových jisticích sponek, které slouží k zajištění produktu na určeném místě. Kovová sponka je na Obr. 36.



*Obr. 36 Kontrolovaná jisticí sponka*

Při kontrole rozměrů bylo použito osvětlení backlight BL-130W od firmy Smart View, osvětlení kamerových senzorů bylo vypnuto. K dispozici byly čtyři testovací sponky, z toho dvě, které byly bez vad a dvě s vadami, které se u výrobku toho typu objevují. Tato úloha je zaměřena pouze na kontrolu rozměrů sponek, a to z toho důvodu, že cílem bylo porovnat schopnosti obou kamerových senzorů při měření vzdáleností s externím osvětlením typu backlight. Kontrolované sponky jsou měřeny ve třech místech, které jsou určeny zákazníkem jako kritické, a je důležité zachovat v těchto místech správné rozměry.

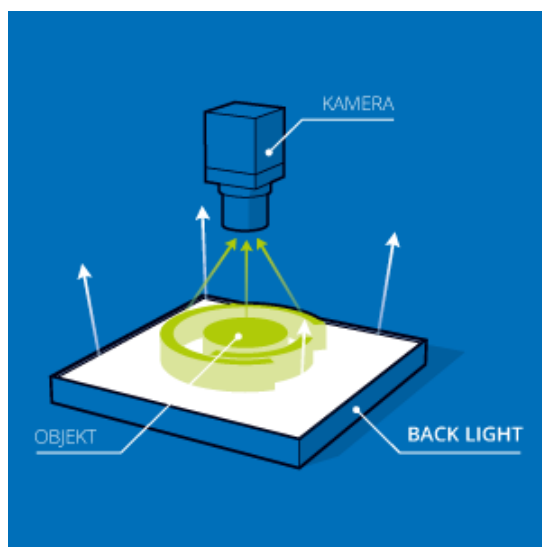
Oba kamerové senzory byly pro tento test uchyceny vedle sebe pomocí systému Noga do poloh, kdy oba viděly stejnou část kontrolované sponky, jak lze vidět na Obr. 37. Následně byly nastaveny inspekce a úloha byla testována. Sponky byly měřeny nejdříve ve stejné pozici, poté byly pod kamerové senzory zakládány různě se snahou rotovat s nimi kolem své osy do různých poloh. Výsledky byly přepsány do programu Excel a vyhodnoceny.



*Obr. 37 Pracoviště pro kontrolu rozměrů sponek*

Osvětlení typu backlight, které je k vidění na Obr. 38, bylo zvoleno kvůli charakteru této inspekce, kdy je nutné zaznamenat i minimální změnu rozměru. Osvětlení je umístěno naproti kamery. Snímaný objekt je umístěn mezi kamerou a osvětlením. Při tomto typu nasvětlení je zkoumaný objekt viditelný jako silueta a nelze kontrolovat kvalita povrchu, avšak kontrola rozměrů je při tomto osvětlení naopak velmi lehce realizovatelná. Okolí objektu je nadměrně osvětleno, a díky tomu je tato aplikace relativně odolná vůči okolnímu světlu. Kontrast mezi světlem a objektem by měl být co největší, díky tomu je možné získat kvalitní výsledky. [66]

Pokud je u tohoto typu osvětlení nedostatečný kontrast mezi objektem a světlem, je možné kontrast zvýšit několika způsoby. Například oddálením objektu od světla, což zajistí ostřejší hrany objektu, použití polarizačních filtrů na světlo i na kameru, což pomůže zejména při nasvětlení průhledných materiálů, například plastů, nebo použití světla s kratší vlnovou délkou. Při této úloze však žádná z těchto metod nebyla použita. [66]

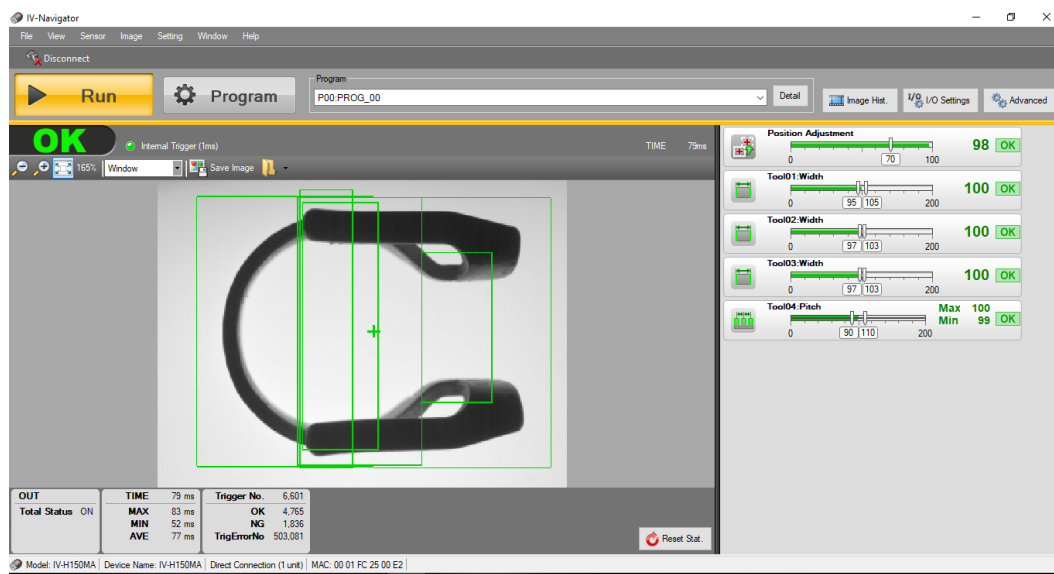


Obr. 38 Princip osvětlení backlight BL-130W [67]

### 4.3.1 Keyence

Po nastavení obrazu a uložení referenčního snímku byl na kamerovém senzoru nastaven nástroj Position Adjustment, u kterého je z důvodu možnosti náhodného položení kontrolované sponky nastavena rotace na  $\pm 180^\circ$ . Díky zadnímu osvětlení jsou velmi dobře rozpoznány všechny potřebné hrany. Dalším nástrojem, který je použit, je měření vzdálenosti, které je využito třikrát, jedenkrát pro každou z měřených částí. U měřicích funkcí je také pomocí Width Mode určeno, zda budou měřeny vnitřní nebo vnější nalezené hrany. Pro zajímavost je zde také využita funkce Pitch, která dokáže měřit rozdíl v rozteči mezi nalezenými výstupky a také určit počet nalezených výstupků ve srovnání s referenčním snímkem. U jednotlivých nástrojů jsou nastaveny příslušné toleranční meze.

Na snímku Obr. 39 lze vidět sponku, která je bez vady, a je tedy správně vyhodnocena jako OK. Vyhodnocení proběhlo v programu IV-Navigator, obraz je sejmutý kamerovým senzorem Keyence. Snímek je z měření sponky v referenční poloze.

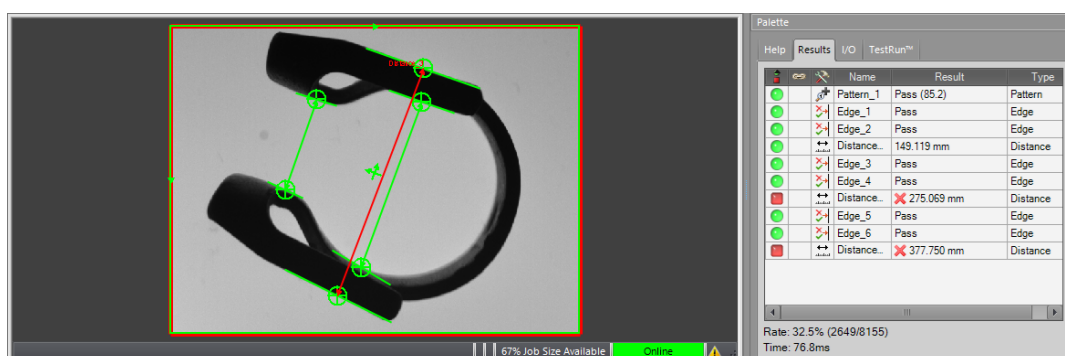


Obr. 39 Snímek sponky vyhodnocen jako OK – referenční poloha sponky

### 4.3.2 Cognex

Po zaostření obrazu a uložení referenčního snímku je využit první nástroj, Pattern, na který jsou fixovány ostatní nástroje. Je nastavena procentuální shoda s původním snímkem a rotace oproti původnímu snímku na  $\pm 180^\circ$ , stejně jako u kamerového senzoru Keyence. Dále jsou využity, stejně jako u druhého kamerového senzoru, tři měřicí funkce. Je možné také nastavit přechod hran, který bude brán v potaz, pro spolehlivější detekci hran. Dále jsou nastaveny vhodné toleranční meze.

Na Obr. 40 je vidět sponka s vadou, která je vyhodnocena jako NOK. Vyhodnocení proběhlo pomocí programu In-Sight Explorer, obraz je sejmutý kamerovým senzorem Cognex. Snímek je pořízen při náhodném položení sponky na podložku.



Obr. 40 Snímek sponky vyhodnocen jako OK – natočení sponky

### 4.3.3 Vyhodnocení

Vyhodnocení probíhalo obdobně jako u předchozí úlohy s tím rozdílem, že nebyla vyhodnocena způsobilost měřicího zařízení. Byl tedy proveden Grubbsův test odlehlých hodnot, kde bylo zjištěno, že soubor hodnot neobsahuje žádnou hodnotu, která by byla významně odlehlá. Grubbsův test byl proveden u všech testovaných sponek a detailně je popsán v kapitole 4.2.3.

U testovaných sponek byla určena střední hodnota, výběrová směrodatná odchylka, nejistota typu A, variační rozpětí, opakovatelnost a také strannost, která je určena pro referenční sponku. Všechny výpočty jsou detailně rozebrány v kapitole 4.2.3. Při testování sponek ve stejné poloze byla u všech testovaných sponek odchylka při měření nulová a výsledky byly tedy vždy totožné, a to u obou kamerových senzorů (po zaokrouhlení výsledků kamerového senzoru Cognex na stejné jednotky jako u kamerového senzoru Keyence). Níže je tedy vynesena tabulka a grafy pouze pro případ, kdy byly sponky zakládány různým způsobem na měřicí podložku. V tabulkách jsou uvedeny výsledky vždy z deseti naměřených hodnot. Vzhledem k tomu, že jsou rozměry kontrolovány na třech různých místech, jsou výsledky vypočteny pro všechna tato měření.

V Tab. 14 jsou zobrazeny výsledky měření pomocí kamerového senzoru Keyence a v Tab. 15 jsou zobrazeny výsledky měření pomocí kamerového senzoru Cognex.

Tab. 14 Vyhodnocení měření pomocí kamerového senzoru Keyence

Kontrola rozměrů	OK sponky		NOK sponky	
Keyence	1.sponka	2.sponka	4.sponka	5.sponka
Střední hodnota 1 [%]	99,40	99,80	99,20	113,80
Střední hodnota 2 [%]	99,30	99,20	104,30	98,00
Střední hodnota 3 [%]	99,10	99,30	103,60	90,90
Výběrová směrodatná odchylka 1 [%]	<b>0,52</b>	0,42	<b>0,4</b>	1,23
Výběrová směrodatná odchylka 2 [%]	0,48	0,42	0,5	0,00
Výběrová směrodatná odchylka 3 [%]	0,32	0,48	<b>2</b>	<b>0,32</b>
Nejistota typu A 1 [%]	<b>0,16</b>	0,13	<b>0,13</b>	0,39
Nejistota typu A 2 [%]	0,15	0,13	0,15	0,00
Nejistota typu A 3 [%]	0,10	0,15	<b>0,62</b>	<b>0,10</b>
Variační rozpětí rozměry 1 [%]	<b>1</b>	1	<b>1</b>	3
Variační rozpětí rozměry 2 [%]	<b>1</b>	1	1	0
Variační rozpětí rozměry 3 [%]	1	1	5	<b>1</b>
Opakovatelnost rozměry 1 [%]	<b>2,66</b>	2,17	<b>2,17</b>	6,33
Opakovatelnost rozměry 2 [%]	2,49	2,17	2,49	0,00
Opakovatelnost rozměry 3 [%]	1,63	2,49	<b>10,07</b>	<b>1,63</b>

Tab. 15 Vyhodnocení měření pomocí kamerového senzoru Cognex

Kontrola rozměrů	OK sponky		NOK sponky	
Cognex	1.sponka	2.sponka	4.sponka	5.sponka
Střední hodnota 1 [%]	100,00	100	98,70	114,70
Střední hodnota 2 [%]	100,00	100	103,90	100,00
Střední hodnota 3 [%]	100,10	100	103,60	93,00
Výběrová směrodatná odchylka 1[%]	0,94	0	0,95	0,67
Výběrová směrodatná odchylka 2 [%]	0,47	0	0,32	0,00
Výběrová směrodatná odchylka 3 [%]	0,32	0	2,12	0,47
Nejistota typu A 1 [%]	0,30	0	0,30	0,21
Nejistota typu A 2 [%]	0,15	0	0,10	0,00
Nejistota typu A 3 [%]	0,10	0	0,67	0,15
Variační rozpětí rozměry 1 [%]	3	0	3	2
Variační rozpětí rozměry 2 [%]	2	0	1	0
Variační rozpětí rozměry 3 [%]	1	0	5	2
Opakovatelnost rozměry 1 [%]	4,86	0	4,89	3,48
Opakovatelnost rozměry 2 [%]	2,43	0	1,63	0
Opakovatelnost rozměry 3 [%]	1,63	0	10,91	2,43

V tabulkách lze vidět, že oba kamerové senzory si s tímto způsobem kontroly rozměrů poradily dobře. U druhé měřené sponky měl dokonce kamerový senzor Cognex vždy totožné výsledky.

U první měřené sponky měl kamerový senzor Keyence lepší výsledky pro první měření rozměrů, měl nižší hodnoty u všech vynesných výsledků. U druhého měření rozměrů měly oba kamerové senzory téměř totožné výsledky s tím rozdílem, že kamerový senzor Cognex měl nižší hodnotu opakovatelnosti o 0,06%, a tudíž i mírně nižší hodnotu výběrové směrodatné odchylky a nejistoty typu A. Variační rozpětí má však pro toto měření na nižší hodnotě kamerový senzor Keyence. Třetí kontrolu rozměrů zvládly oba kamerové senzory stejně a výsledky jsou totožné.

U třetí měřené sponky měl kamerový senzor Keyence lepší výsledky pro první a třetí měření rozměrů, nižší hodnoty jsou u opakovatelnosti, výběrové směrodatné odchylky i nejistoty typu A, u druhého měření rozměrů měl však tyto hodnoty na nižší úrovni kamerový senzor Cognex. Variační rozpětí je u prvního měření rozměrů na nižší hodnotě u kamerového senzoru Keyence, u druhého a třetího měření jsou hodnoty u obou kamerových senzorů stejné. Při třetí kontrole rozměrů u třetí kontrolované sponky mají oba kamerové senzory relativně vysoké vypočtené hodnoty opakovatelnosti, nejistoty typu A i variačního rozpětí v porovnání s ostatními výsledky v tabulkách. Proto bych se před nasazením této úlohy do průmyslu na tento fakt zaměřil, a zkusil upravit program v kamerových senzorech, kde by mohlo pomoci nastavit senzitivitu při rozpoznání hrany na vyšší úroveň, protože při přezkoumání snímků bylo zjištěno, že kvůli poškození této sponky je jedno z měřených míst výrazně vychýleno z původní pozice, a kamerový senzor se při kontrole rozměrů zaměřil na jinou hranu, než bylo očekáváno.

Při kontrole rozměrů u čtvrté sponky měly oba kamerové senzory vždy stejné výsledky u druhého měření rozměrů, a vypočtené výsledky jsou tedy v obou případech nulové. U první kontroly

rozměrů měl lepší výsledky kamerový senzor Cognex, u třetí kontroly rozměrů naopak kamerový senzor Keyence.

Tab. 16 Strannost měření pro referenční jisticí sponku a oba kamerové senzory

Keyence	1. sponka
Strannost 1 [%]	-0,6
Strannost 2 [%]	-0,7
Strannost 3 [%]	-0,9
Cognex	1. sponka
Strannost 1 [%]	0
Strannost 2 [%]	0
Strannost 3 [%]	0,1

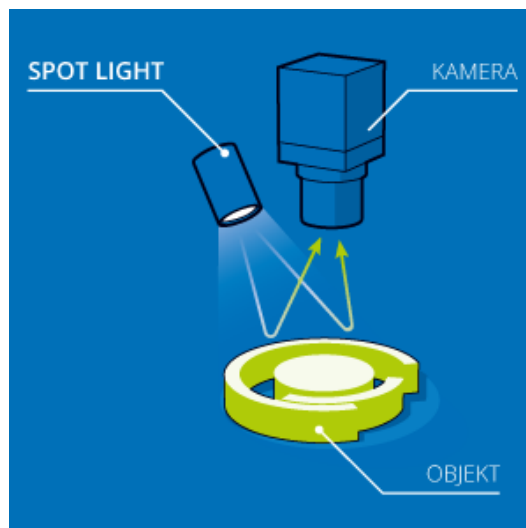
Při porovnání strannosti měření pro referenční sponku jde vidět, že pro všechny tři měření rozměrů na referenční sponce měl menší strannost kamerový senzor Cognex a to na hodnotě 0% pro měření č. 1, 0% pro měření č. 2, a 0,1% pro měření č. 3. Oproti tomu kamerový senzor Keyence měl tyto hodnoty na hodnotě -0,6% pro měření č. 1, -0,7% pro měření č. 2, a -0,9% pro měření č. 3. Z hlediska strannosti si tedy s touto úlohou lépe poradil kamerový senzor Cognex.

Oba kamerové senzory tuto úlohu zvládly. Před samotným nasazením je však důležité více otestovat NOK kusy, u kterých by mohl nastat problém, pokud budou výrazným způsobem poškozeny, jak již bylo zmíněno. Při porovnání nástroje pro kontrolu rozměrů za použití externího osvětlení backlight, byly výsledky u obou kamerových senzorů srovnatelné, s malými rozdíly, které mohou být dány ručním zakládáním kontrolovaných předmětů pod kamerové senzory.

#### 4.4 Kontrola konektoru v automobilovém světlometu

Poslední úloha s oběma kamerovými senzory spočívala v kontrole zacvaknutí konektoru se zámkem a pojistkou proti samovolnému vytažení u automobilového světlometu. Tato úloha je v současnosti realizována v průmyslové výrobě pomocí inteligentní kamery, byla zde tedy snaha kamerové senzory nastavit tak, aby dokázaly tuto úlohu spolehlivě detekovat a ukázat, zda by bylo možné na tuto konkrétní úlohu nasadit místo inteligentních kamer kamerové senzory.

U inspekce byl použit typ předního osvětlení s jasným obrazovým polem, konkrétně bodové osvětlení SP-26R18 od firmy Smart View, které je typem osvětlení s plošným osvětlovacím polem. Princip tohoto osvětlení lze vidět na Obr. 41. Osvětlení kamerových senzorů bylo vypnuto. Kamerové senzory byly zaměřeny na jeden konkrétní konektor v automobilovém světlometu, který byl poskytnut přímo od výrobce světlometů pro účely zjištění realizovatelnosti této úlohy. Cílem bylo spolehlivě detekovat, kdy je konektor zastrčený a kdy je konektor povytažený nebo neúplně zastrčen. Výsledkem bude zjištění, zda je možné oběma těmito kamerovými senzory vyřešit danou úlohu.



*Obr. 41 Princip bodového osvětlení [68]*

Konektory byly zastrčeny a poté s nimi bylo různě manipulováno, byly povytahovány a také byla měněna pozice kabeláže, která by mohla mít na výsledky inspekce také vliv. Původně bylo zamýšleno měřit vzdálenosti mezi oběma částmi konektoru, a to na levé a pravé straně, a také uprostřed konektoru. Měření uprostřed nakonec nebylo možné, protože často toto měření znemožnilo umístění kabeláže. Při testování bylo možné dát konektor do takové polohy, že byl úplně vytažen, avšak kamerový senzor našel i tak hrany a provedl měření, které by teoreticky mohlo být vyhodnoceno jako OK, z toho důvodu je kromě měření vzdálenosti použit také nástroj pro kontrolu obrysu objektu, je tedy kontrolováno, zda jsou spojeny obě části konektoru.

Použité osvětlení, kterým je v tomto případě červené bodové světlo, je použito proto, že poskytlo nejlepší kontrast mezi bílým plastem konektoru a zbytkem světlometu. Použitelné by však byly i jiné barvy bodového osvětlení, rozhodl jsem se však použít tuto nejvhodnější variantu. Jiné než bodové osvětlení by v této úloze kvůli umístění konektoru nebylo možné použít.

Bodové osvětlení je používáno pro přímo osvětlení zkoumaného objektu, a to kuželovitým zdrojem světla. Lze použít jedno nebo i více bodových světel pro správné nasvícení objektu.

Celá sestava je uchycena pomocí držáků Noga a Balluff. Bodové světlo je umístěno těsně nad kamerovým senzorem. Testy byly provedeny nejprve s jedním a poté s druhým kamerovým senzorem, a to proto, aby bylo možné zajistit stejnou polohu obou kamerových senzorů vůči kontrolovanému konektoru.



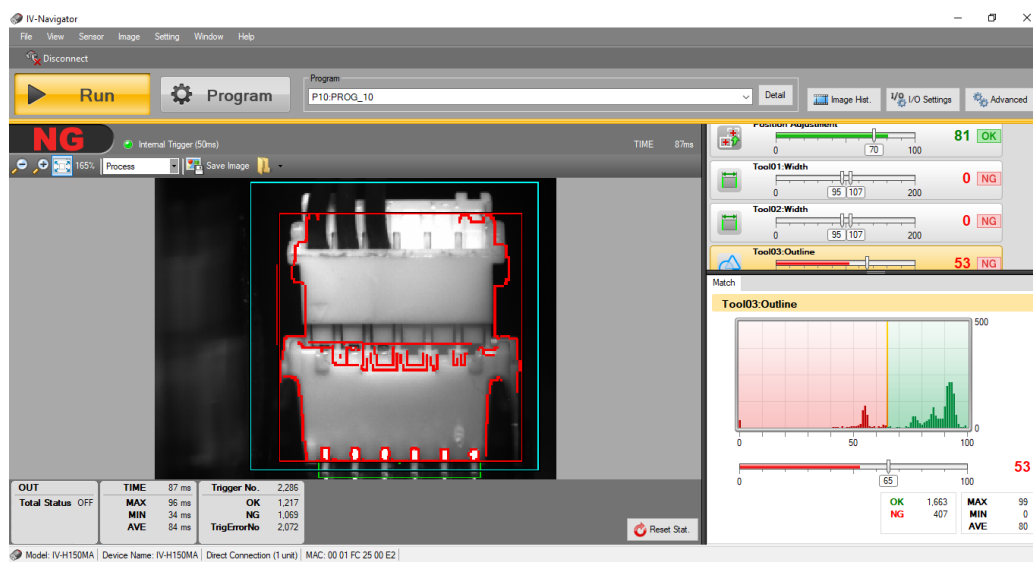


Obr. 42 Sestava pro kontrolu konektoru s kamerovým senzorem Keyence a bodovým osvětlením

#### 4.4.1 Keyence

Nejdříve byl obraz vhodně zaostřen a uložen referenční snímek, což je korektně zasunutý konektor. Pomocí nástroje Position Adjustment, který je zaměřen na šest kovových nožek konektoru, je určen referenční bod pro další použité nástroje. Je povolena maximální rotace o  $\pm 20^\circ$ . Následně jsou využity měřicí nástroje Width, které měří vzdálenost mezi oběma částmi konektoru, a to na levé a pravé straně. Použit je také nástroj Outline pro kontrolu obrysu konektoru, kterým je ověřeno, spojení obou částí konektoru. Každý nástroj má nastaveny vhodné toleranční meze.

Na následujícím snímku Obr. 43 je konektor, který není úplně zastrčen a je tak vyhodnocen jak NOK. Jsou nalezeny kovové nožky konektoru, avšak měření vzdáleností ani kontrola obrysu není v zadaném rozmezí.

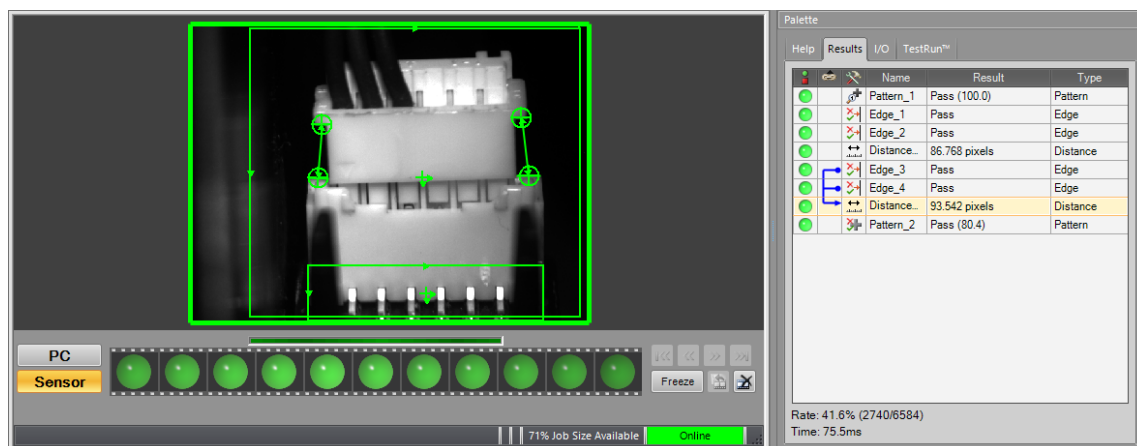


Obr. 43 Snímek konektoru vyhodnoceného jako NOK

#### 4.4.2 Cognex

Obraz byl zaostřen, referenční snímek uložen. Poté byl využit nástroj Pattern, který je stejně jako u druhého kamerového senzoru zaměřen na šest kovových nožek konektoru. Na tento nástroj jsou fixovány všechny následné použité nástroje. Je povolena rotace nástroje Pattern o  $\pm 20^\circ$ . Jsou použity měřicí nástroje Distance pro měření vzdálenosti mezi levou a pravou stranou konektoru. Pro kontrolu obrysu konektoru je využit podruhé nástroj Pattern, kterým je tentokrát zaměřen na celý konektor. U všech použitých nástrojů jsou nastaveny vhodné toleranční meze.

Snímek Obr. 44 zobrazuje konektor, který je korektně zastrčen, je tak vyhodnocen jako OK.



Obr. 44 Snímek konektoru vyhodnoceného jako OK

#### 4.4.3 Vyhodnocení

Po testech lze konstatovat, že oba kamerové senzory mohou tuto funkci plnit spolehlivě. Řešení je robustní, a ani různé polohy kabeláže neznehodnotí výsledek inspekce, který je spolehlivý u obou těchto kamerových senzorů. Vzhledem k malé velikosti konektorů a jeho relativně obtížné kompletní viditelnosti bylo nutné kamerové senzory nastavit přesně do této polohy, kdy žádná jiná součástka uvnitř světlotmetu nebránila tomu, aby byla inspekce spolehlivě provedena. Problém by mohl nastat snad jen v případě, že by konektory byly zašpiněny, nebo jinak zabarveny, v místech, kde jsou hledány hrany. Tento problém je reálný a vyskytl se v případě, kdy si operátoři dělali na konektory značky černým popisovačem, bylo tedy nutné tento jejich zvyk zakázat.

#### 4.5 Celkové porovnání

Vybrané úlohy splnily oba vybrané inteligentní kamerové senzory obstojně a byly schopny vyřešit všechny požadované inspekce.

U kontroly průmyslových konektorů na pásovém dopravníku s využitím integrovaného osvětlení kamerových senzorů se při použití nástroje pro měření vzdáleností jevil jako lepší kamerový senzor Keyence, kamerový senzor Cognex byl lepší při použití nástroje pro počítání pixelů určené intenzity, oba kamerové senzory však úlohu zvládly bez problémů a oba způsoby kontroly konektorů byly pomocí indexů způsobnosti vyhodnoceny jako způsobilé.

Při použití parazitního osvětlení a použití nástroje pro měření vzdálenosti byl lepší znovu kamerový senzor Keyence, který měl při měření s korekcí i bez korekce jasu nulové odchylky od střední

hodnoty. Při použití nástroje pro počítání pixelů měl nejmenší hodnotu strannosti kamerový senzor Keyence bez korekce jasu, avšak kamerový senzor Cognex byl ve všech ostatních aspektech lepší. Při porovnání kamerového senzoru Keyence s použitím a bez použití funkce pro korekci jasu byly při použití této funkce téměř všechny vynesené hodnoty nižší. Jediná hodnota, která má s touto funkcí vyšší hodnotu je strannost měření.

Kontrola jisticích sponek, s využitím osvětlení backlight, ukázala, že výsledky obou kamerových senzorů jsou při tomto typu inspekce a použití externího osvětlení srovnatelné. U vynesení strannosti pro referenční konektor dopadl lépe kamerový senzor Cognex.

Kontrolu zacvaknutí u automobilových konektorů, za použití externího bodového osvětlení, zvládly také oba kamerové senzory bez problémů.

Rozdíl mezi oběma kamerovými senzory je ve způsobu ukládání programů, kdy kamerový senzor Keyence má maximální počet programů 32, a je jedno jak jsou rozsáhlé, kdežto kamerový senzor Cognex má počet programů omezen velikostí vnitřního úložiště které je 32MB, a při testování dosahovaly testovací programu maximální velikosti okolo 300kB, lze tedy předpokládat, že do tohoto kamerového senzoru bude možné uložit více programů pro kamerové inspekce.

Kamerový senzor Cognex je také jednoznačně lépe vybaven nástroji pro tvorbu inspekci, jak je podrobněji rozebráno v kapitole 4.1. Software firmy Cognex, In-Sight Explorer, dovolí uživateli více možností. Například je možné určit více souřadných systémů pro jednotlivé nástroje, a vzájemně je mezi sebou provázet. Cognex také disponuje možností měřit vzdálenost ve více jednotkách, a to konkrétně v pixelech, milimetrech, centimetrech a palcích, kdežto u kamerového senzoru Keyence je to možné pouze v procentech. Kamerový senzor Keyence má navíc oproti senzor Cognex funkci automatické korekce změny jasu, která byla využita při testování parazitního osvětlení. Nevýhodou softwaru In-Sight Explorer mohou být jeho větší hardwarové požadavky, oproti systému IV-Navigator, avšak v dnešní době se dají oba softwary považovat za nenáročné.

Kamerový senzor Keyence dokáže pracovat s protokoly FTP client, EtherNet/IP a PROFINET, Kamerový senzor Cognex zvládá navíc i SLMP, SLMP Scanner, Modbus TCP, TCP/IP, UDP, Telnet (Native Mode) a RS-232.

## 5 Reálné průmyslové úlohy s kamerovým senzorem Keyence

V této kapitole budou představeny reálné úlohy, které momentálně fungují v praxi. Budou ukázány jak jednotlivé inspekce, tak také nastavení komunikace mezi kamerovým senzorem firmy Keyence a PLC. Chybí pouze ukázka jednotlivých pracovišť a kompletní zobrazení výrobků, u kterých je inspekce prováděna z důvodu ochrany výrobního tajemství jednotlivých společností.

### 5.1 Kontrola konektoru

Při této inspekci je kontrolováno, zda jsou konektory správně zasunuty. Konektory jsou umístěny na modulu, který je následně vložen do automobilového světlometu. U kontroly konektoru je důležité to, aby bylo spolehlivě detekováno, kdy je konektor zastrčený a kdy je konektor povytažený nebo neúplně zastrčen, tím lze zamezit pozdějšímu vysunutí konektoru v provozu a následným reklamacím. Kamerová inspekce je na tomto pracovišti prováděna pomocí dvou kamerových senzorů, jeden pro levou a jeden pro pravou variantu modulů. Popsána zde bude pouze inspekce pro jednu z variant těchto modulů, pro druhou variantu je inspekce vyřešena stejným způsobem.

Moduly jsou operátory založeny do lůžek, které odpovídají tvarem danému modulu. Po založení je zkontrolováno, zda operátor zasunul konektor korektně. Výsledek je předán pomocí digitálních výstupů do PLC.

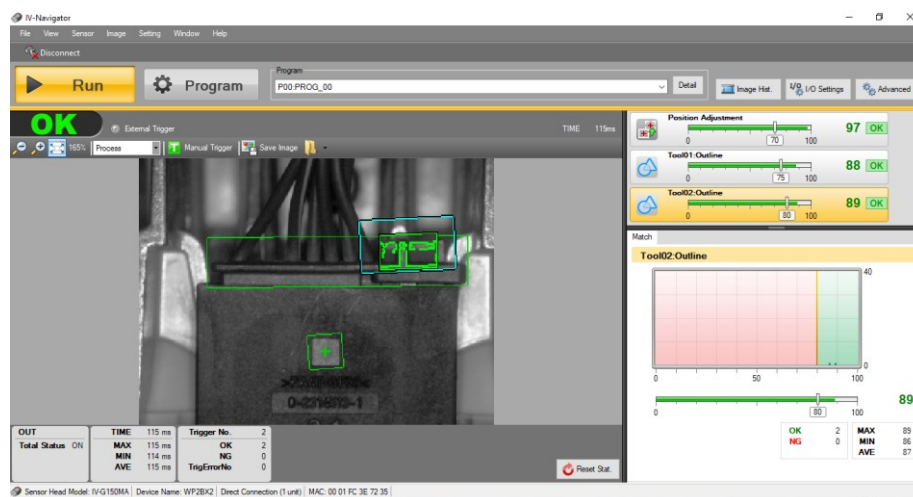
Pro inspekci byla vybrána levnější verze kamerového senzoru Keyence IV-G150MA, který je téměř totožný s výše testovaným kamerovým senzorem s tím rozdílem, že tento konkrétní kamerový senzor nemá ve výbavě pokročilé funkce, a je tak možné kontrolovat pouze pozici vzoru, podle které lze následně orientovat jednotlivé inspekce, dále obrys zkoumaného objektu, a poté už jen počítání pixelů. Jde o variantu s monochromatickým snímacím čipem a pracovní vzdáleností do 150mm. Dalším rozdílem u tohoto kamerového senzoru je to, že jeho hlava, která snímá obraz je oddělena od vyhodnocovací jednotky, která je umístěna v rozvaděči. Samotná hlava senzoru je tak mnohem menší a je snadnější zakomponovat kamerový senzor do výrobní linky. Tento typ kamerového senzoru byl vybrán také z důvodu konstrukce samotného konektoru, u kterého je pojistka proti vysunutí dobře viditelná a není možné ji zatlačit do zajištěné polohy, aniž by konektor byl kompletně zasunut v patici. Díky tomu není nutné měřit vzdálenost mezi horní hranou konektoru a jeho paticí a postačí pouze funkce pro zkontrolování obrysu. Dalším důvodem pro použití tohoto méně vybaveného typu kamerového senzoru je samozřejmě také cena. Využito je pouze interní osvětlení tohoto kamerového senzoru, které tvoří bílé LED.

Při vytváření inspekce byl využit čtverec, který je vylisován na patici konektoru, a na něj byla nastavena pozice vzoru Position Adjustment, tím bylo zajištěno, že i pokud dá operátor výrobek do mírně jiné pozice, než je očekávaná pozice, tak proběhne inspekce správně. Dále bylo nastaveno hledání obrysu samotného konektoru a hledání obrysu pojistky proti vysunutí konektoru.

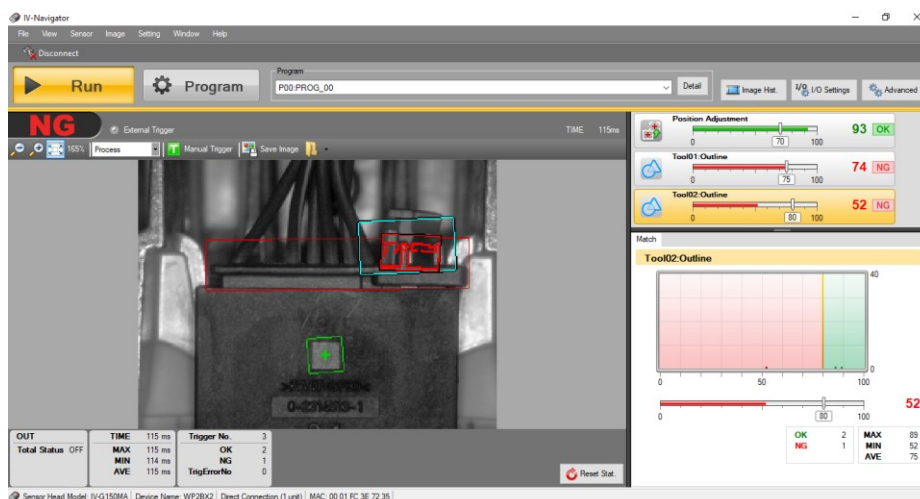
Při testování byly konektory mnohokrát různými způsoby zastrčeny a znovu vysouvány. Byla také měněna pozice kabeláže a také celého výrobku, který je umístěn v lůžku speciálně vyrobeném pro daný výrobek. Lůžko je umístěno na výrobní lince. V lůžku je vůle, aby se operátorům dobře zakládalo pro samotnou kamerovou kontrolu, s výrobkem lze tedy lehce hýbat, ale přesto byla inspekce vždy

správně vyhodnocena. Špatné vyhodnocení inspekce je možné pouze pokud operátor do lůžka nezaloží výrobek tak, aby byl viditelný kamerovým senzorem, nebo samotný konektor zastíní. Inspekce byla testována za různých světelných podmínek, při zapnutém i vypnutém osvětlení pracoviště, za slunečního dne i v noci. Došel jsem k závěru, že pokud není přímo osvětlen konektor nebo objektiv kamerového senzoru silným zdrojem světla, což je silně nepravděpodobné, inspekce je vyhodnocena správně.

Tato kamerová inspekce je tedy dostatečně robustní a momentálně úspěšně funguje v průmyslové výrobě.



Obr. 45 Snímek konektoru vyhodnoceného jako OK



Obr. 46 Snímek konektoru vyhodnoceného jako NOK

## 5.2 Kontrola přítomnosti nálepek

Tato inspekce má za úkol správně určit, zda se na světlometu nacházejí nálepek, které jsou určeny pro daný typ světlometu. Na tomto pracovišti jsou vyráběny celkem tři typy světlometů s tím, že každé je vyráběno v levé a v pravé variantě, celkově se zde tedy může objevit šest různých světlometů, u kterých je nutné určit, o jaký světlomet se jedná a také to, zda jsou všechny nálepek na svých místech. Kompletní kamerová inspekce je zde provedena čtyřmi kamerovými senzory. Dva

z typů světlometů mají speciální nálepky, které na nich musí být umístěny. Jeden typ světlometu musí zůstat bez nálepky. Nálepky musejí být nalepeny na správných světlometech, na správných místech a musejí být správně orientované. Pro inspekci jsou využity celkově čtyři kamerové senzory, dva pro levé a dva pro pravé varianty světlometů. Detailně zde bude popsána pouze kamerová inspekce pro levý typ světlometu, protože druhá varianta je vyřešena obdobně.

Část snímků v této kapitole je částečně znečitelněna z důvodu ochrany citlivých firemních údajů.

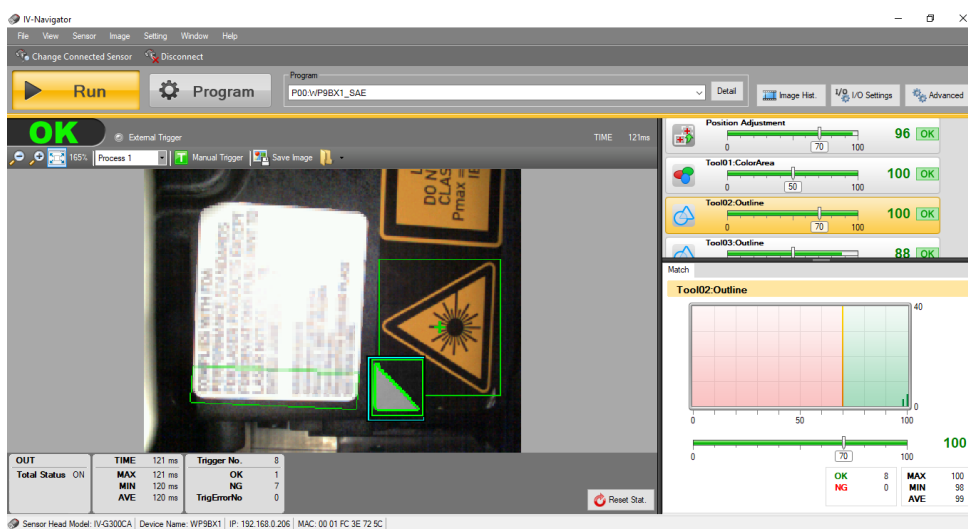
Světlomety jsou zakládány do lůžek, které jsou vyrobeny přesně pro daný typ světlometů. Po založení je pomocí čtečky kódů načten specifický QR kód světlometu. Tato informace putuje do PLC, které rozhodne, který program v kamerovém senzoru bude spuštěn. Spuštění programu je zaručeno pomocí digitálních vstupů kamerového senzoru. Je tak zaručeno, že je vždy kontrolován správný typ světlometu. Výsledek inspekce je předán do PLC pomocí digitálních výstupů kamerových senzorů.

Pro tuto úlohu byly vytipovány kamerové senzory Keyence IV-G300CA. Jedná se o variantu s barevným snímáčním čipem, pracovní vzdáleností do 300mm, a stejně jako u předchozí úlohy se jedná o variantu s oddělenou snímácí hlavou a vyhodnocovací jednotkou. Tento kamerový senzor disponuje oproti předchozímu kamerovému senzoru navíc nástrojem ColorArea pro počítání pixelů o určité barvě. Barevná varianta kamerového senzoru byla vybrána z důvodu požadavku zákazníka na kontrolu správných barev některých nálepek. Pro osvětlení je využito interní osvětlení kamerového senzoru, které tvoří bílé LED.

U každého z kamerových senzorů jsou vytvořeny tři programy, pro každý typ světlometu jeden. Na Obr. 47 jsou číselně označeny nálepky, které jsou kontrolovány prvním kamerovým senzorem. U prvního kamerového senzoru a jeho prvního programu je využita pozice vzoru Position Adjustment, která je nastavena na trojúhelník se znakem laseru uprostřed, který je na nálepce č.2, a je to tedy referenční bod. Dále je zkontrolována barva pomocí nástroje ColorArea, a přítomnost trojúhelníku ve spodním rohu této nálepky pomocí nástroje Outline. Orientace bílé nálepky s textem, označenou jako č.1, je zkontrolována tak, že je kontrolován obrys ve spodní části nálepky. Pokud by byla nálepka otočena, kamerový senzor by nenašel téměř žádný černý text u spodní hrany nálepky. U druhého programu je kontrolována nálepka č.2 stejným způsobem, tedy pozicí vzoru. Ve spodním rohu této nálepky se oproti předchozí verzi nesmí objevit žádný trojúhelník, pomocí počítání barevných pixelů je tak zkontrolováno, že je zde černá barva. V levé části se nesmí objevit žádná nálepka a pomocí počítání barevných pixelů černé barvy je zaručeno, že se neobjeví žádná z dostupných nálepek. U třetího programu je kontrolováno pomocí počítání barevných pixelů to, že se zde neobjeví žádná nálepka. Jsou zde využity dvě tyto kontroly, každá pro jinou část světlometu, a to z toho důvodu, že při jedné kontrole umístěné přes celou kontrolovanou plochu tento typ inspekce nebyl dostatečně robustní, a rozdíl mezi nalepenou černo-žlutou nálepkou a čistým světlometem byl minimální.



Obr. 47 První kamera – nálepka č.1 je otočena

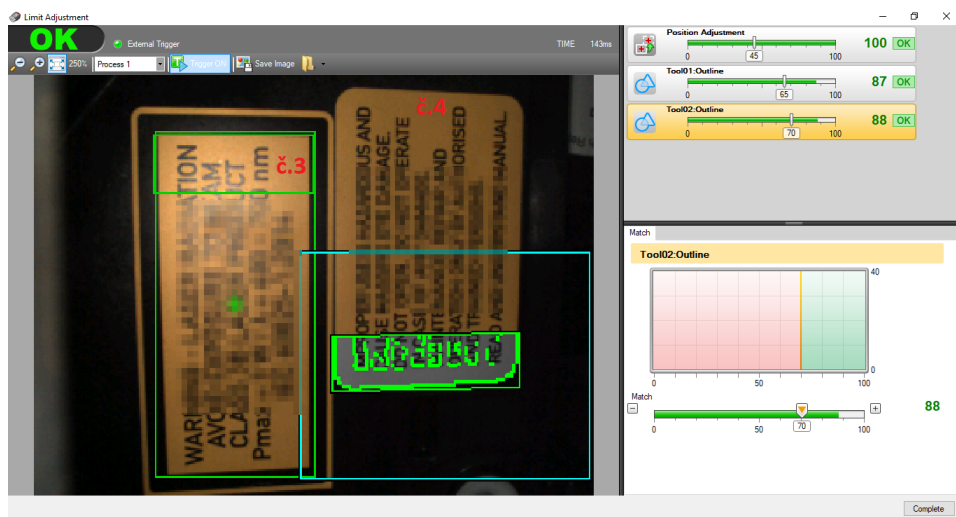


Obr. 48 První kamera – všechny nálepky jsou nalepěny správně

U druhého kamerového senzoru a jeho prvního programu je kontrolována správnost dvou nálepek, u jedné z nich je kontrolována i její orientace. Nálepky jsou na Obr. 49 číselně označeny. U nálepky č.3 není nutné kontrolovat orientaci, a to z důvodu, že je součástí nálepky č.2, která je kontrolována pomocí prvního kamerového senzoru. Obdélník u nálepky č.3, v němž je napsán text, je kontrolován pomocí pozice vzoru, text uvnitř je pro tuto kontrolu odstraněn. Další dvě inspekce jsou provedeny pomocí kontroly obrysu vrchní, respektive spodní části této nálepky. Tím je zkontrolována orientace nálepky č.4 a správný text u nálepky č.3. Kontroly správného textu bylo možné docílit tím, že druhá varianta nálepek, která se může objevit, má značně rozdílný text na koncích řádků, jinak by tento typ inspekce nebyl možný. Druhý program je nastaven obdobně s tím rozdílem, že je nastaven odlišný referenční snímek pro jiný typ nálepek. U třetího programu je stejně jako u prvního kamerového senzoru kontrolován prázdný světlomet bez nálepek, a je tak docíleno pomocí kontroly barevných pixelů.

U tohoto typu kontroly, tedy nálepek, které lepí sami operátoři, je nutné nastavit oblast vyhledávání dostatečně rozsáhlou z důvodu možných nepřesností při ručním lepení.





Obr. 49 Druhá kamera – všechny nálepky jsou nalepeny správně

Po nastavení všech kamerových senzorů se přešlo k testování, kdy byly světlomety mnohokrát zasouvány do lůžek, a byla spouštěna kamerová kontrola. Nálepky byly různým způsobem přelepovány, otáčeny a také byly lepeny na nesprávné typy světlometů. Pomocí precizního vyrobení lůžka je zaručeno, že světlomet je vždy založen ve stejné pozici. Po testování bylo zjištěno, že i když jsou nálepky nalepeny různým způsobem, nebo se i lehce překrývají, tak je zaručen správný výsledek inspekce. Vzhledem k dobrému zakrytování kamerových senzorů nemají na výsledky vliv ani proměnlivé světelné podmínky. Nesprávný výsledek je možný pouze při zastínění kamerového senzoru.

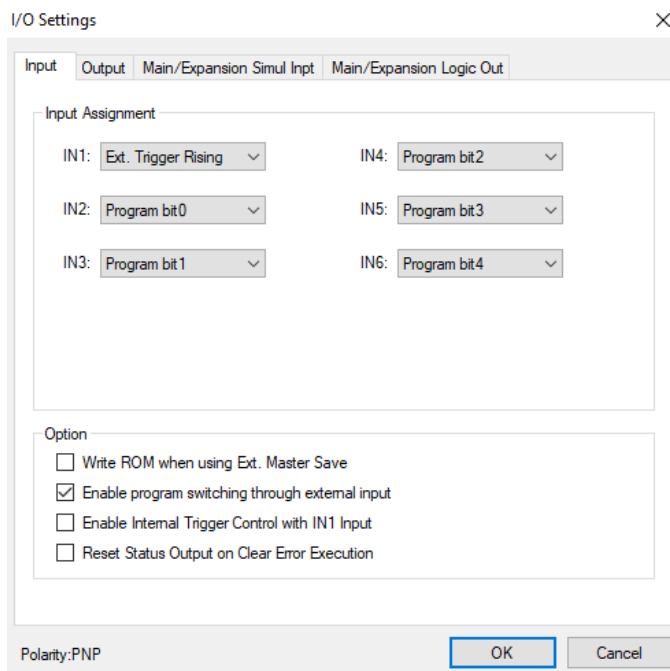
Tato kamerová inspekce je dostatečně robustní a je úspěšně nasazena v průmyslové výrobě.

### 5.3 Komunikace s PLC

U komunikace s PLC je možné využít více způsobů předání výsledků inspekce. Pro tyto úlohy byla zvolena jednoduchá forma předání pomocí využití digitálních vstupů a výstupů, které jsou propojeny s kartou PLC.

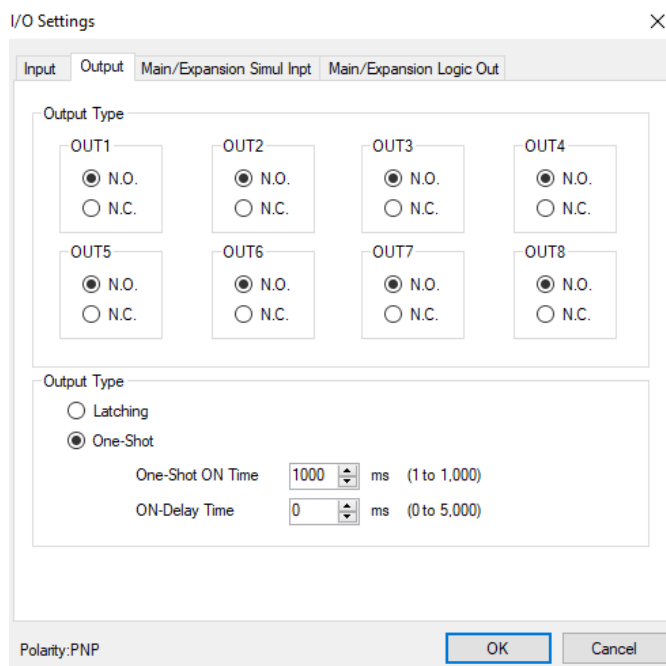
Pomocí digitálního vstupu je ovládáno osvětlení kamerového senzoru, kdy je stiskem tlačítka na operátorském panelu vyvolána inspekce a je tedy nutné rozsvítit i interní osvětlení. Při volbě toho, co na kterém vstupu nebo výstupu bude, je ideální vycházet z projektové dokumentace. Na vstup IN1 bylo nastaveno Ext. Trigger Rising, tedy externí spoušť pro sejmutí snímku, a bylo zaškrtnuto povolení externího ovládání přepínání programů Enable program switching through external input.





Obr. 50 Nastavení vstupů

Všechny výstupy jsou nastaveny na N.O., tedy Normally Open a typ výstupu je nastaven jako One-Shot s dobou 1 000ms, čímž bylo zajištěno, že na vstup PLC přijde jednotkový signál o délce pulzu 1 000ms, který nese informaci o výsledku inspekce.



Obr. 51 Nastavení výstupů

Dále je v posledním kroku při nastavování samotného programu zvoleno podle dokumentace, význam jednotlivých výstupů. Do PLC tedy bude chodit zpráva, zda je kamera spuštěna a také výsledek inspekce.

**STEP4. Output Assignment**

Assign an output condition to an output line.

Output Assignment   Extended Functions

OUT1 Total Status ▼

OUT2 OFF ▼

OUT3 OFF ▼

OUT4 RUN ▼

OUT5 OFF ▼

OUT6 OFF ▼

OUT7 OFF ▼

OUT8 OFF ▼

Trigger Error Output

☐ Enable   ☒ Disable

*Obr. 52 Nastavení výstupních signálů*

## Závěr

Cíle této diplomové práce, které spočívaly v analýze stavu techniky inteligentních kamerových senzorů na českém trhu, zvolení dvou vhodných kamerových senzorů pro tuto diplomovou práci, zvládnutí práce s oběma zvolenými kamerovými senzory a jejich následné porovnání na několika typických úlohách, byly splněny. Zjistil jsem, že na českém trhu je k dispozici velké množství těchto výrobků, které nabízí mnoho firem. Tyto firmy se od sebe svým portfoliem více či méně odlišují. Základní rozdíly mezi jednotlivými kamerovými senzory jsou v této práci přehledně uvedeny, a spoívají zejména v různých rozlišeních snímacího čipu, různých počtech vstupů a výstupů, možnosti komunikace a zejména ve vybavenosti nástroji, které je možné použít pro účely kamerové inspekce.

Při učení se, a testování se samotnými inteligentními kamerovými senzory, jsem zjistil, že po pochopení jednotlivých softwarů a zvládnutí parametrizace, je jejich velkou výhodou rychlost, s jakou je možné je pro danou úlohu plnohodnotně nastavit, což jsem si otestoval jak na testovacích úlohách, tak také na reálných úlohách v průmyslovém prostředí. Nastavení obou kamerových senzorů je v této práci také k nalezení. Dále je zde ukázáno, jak je možné předat výsledky inspekce u obou kamerových senzorů, což je důležité zejména při reálné průmyslové výrobě, kde je většinou nutné informaci předat buďto operátorovi, nebo do nadřazeného systému.

U realizace třech testovacích úloh, které jsou od sebe rozdílné, jsem si vyzkoušel nejen práci s jednotlivými kamerovými senzory, ale také celkový návrh daných úloh s tím, že bylo nutné nejen oba kamerové senzory správným způsobem nastavit, ale také vhodně navrhnout celkovou kompozici, zvolit vhodné osvětlení a také vše správným způsobem napájet, případně propojit s LED, které indikují správnost inspekce.

Po realizaci testovacích úloh byly výsledky obou vybraných kamerových senzorů porovnány mezi sebou. Úlohy jsou vyhodnoceny, a výsledky jsou přehledně zapsány do tabulek. Následně jsou výsledky slovně zhodnoceny a rozdíly mezi oběma kamerovými senzory jsou detailně rozebrány tak, aby bylo pro další použití těchto dvou konkrétních kamerových senzorů jasné, který je pro které úlohy strojového vidění vhodné zvolit.

Následně jsem si při řešení této diplomové práce vyzkoušel také realizaci reálných průmyslových úloh, kdy bylo nutné postupovat podle zadání zadavatele a podle projektové dokumentace. Ověřil jsem si tedy znalost čtení technické dokumentace, práci v týmu, kdy bude nutné spolupracovat se strojním oddělením při návrhu řešení dané úlohy, s programátory PLC při předávce výsledků inspekce a také se samotným zadavatelem těchto úloh.

Do budoucna by se toto téma mohlo rozrůst o řešení úloh s jinými typy kamerových senzorů, například s některými speciálními kamerovými senzory, které jsou zmíněny v kapitole 2.1.

## Použitá literatura

- [1] HAVLE, Otto. Strojové vidění I: Principy a charakteristiky. Automa. 2008(1).
- [2] FERMUN, Lars. Specification of a machine vision system. Vision Doctor: Solutions for Industrial Machine Vision [online]. [cit. 2018-10-19]. Dostupné z: <http://www.vision-doctor.com/en/specification-of-mv-system.html>
- [3] FERMUN, Lars. System Selection. Vision Doctor: Solutions for Industrial Machine Vision [online]. [cit. 2018-10-19]. Dostupné z: <http://www.vision-doctor.com/en/system-selection.html>
- [4] IV-500CA. In: *Keyence* [online]. [cit. 2018-10-19]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sensor/iv/models/iv-500ca/index.jsp>
- [5] IN-SIGHT 8000 VISION SYSTEMS: World's smallest 5MP self-contained vision system. In: *Cognex* [online]. [cit. 2018-10-19]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems/in-sight-8000-series>
- [6] Cameras for embedded applications: Versatile cameras modules for Embedded Vision [online]. In: . [cit. 2018-10-19]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/embedded-vision/embedded-vision-portfolio/>
- [7] Keyence. *Keyence* [online]. KEYENCE CORPORATION [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/ss/ds/cz/>
- [8] Keyence. *Keyence* [online]. KEYENCE CORPORATION [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/ss/ds/cz/vision.jsp>
- [9] Keyence: Vision Sensor. *Keyence* [online]. KEYENCE CORPORATION [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sensor/iv/models/index.jsp>
- [10] Cognex: COMPANY. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/company>
- [11] Cognex: MACHINE VISION. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-sensors/in-sight-2000-vision-sensors>
- [12] Cognex: MACHINE VISION. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-sensors/in-sight-2000-mini>
- [13] Cognex: PRODUCTS. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products>
- [14] SICK spol. s r.o. *SICK: Sensor Intelligence* [online]. SICK [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/sick-spolek-s-r-o-w/sick/>

- [15] 2D Vision Inspector: Inteligentní řešení zpracování obrazu v komfortním balíčku senzorů. *SICK: Sensor Intelligence* [online]. SICK [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: [https://www.sick.com/cz/cs/kamerove-systemy/2d-vision/inspector/c/g114860?q=:Def\\_Type:Product](https://www.sick.com/cz/cs/kamerove-systemy/2d-vision/inspector/c/g114860?q=:Def_Type:Product)
- [16] 3D Vision: Intelligence Vision ve všech dimenzích. *SICK: Sensor Intelligence* [online]. SICK [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/kamerove-systemy/3d-vision/c/g138560>
- [17] Spektrum služeb. *BALLUFF* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/company/company-overview/service-portfolio/>
- [18] Přehled produktů. *BALLUFF* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/products/product-overview/>
- [19] Machine Vision. *BALLUFF* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: [https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/#?data=selection%5Bca%5D%3DA0005%26selection%](https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/#?data=selection%5Bca%5D%3DA0005%26selection%5B)
- [20] Snímače objektů. *AXIMA* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.cz/opticke-snimace-a-kamerove-systemy/kamerove-systemy/snimace-objektu>
- [21] Vision-Sensoren & -Systeme. *SENSOPART* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.sensopart.com/de/produkte/vision-sensoren-a-systeme>
- [22] Company. *Baumer: Passion for Sensors* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.baumer.com/se/en/company/a/company>
- [23] Vision sensors for automation technology – VeriSens: Eyeing your quality. *Baumer: Passion for Sensors* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.baumer.com/se/en/product-overview/image-processing-identification/vision-sensors/c/332>
- [24] Industrial cameras: High-performance CMOS and CCD cameras with GigE Vision, USB3 Vision and Camera Link. *Baumer: Passion for Sensors* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.baumer.com/se/en/product-overview/image-processing-identification/industrial-cameras/c/331>
- [25] SPOLEČNOST TURCK. *TURCK* [online]. [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://www.turck.cz/cs/o-spolenosti-141.php>
- [26] COMPANY: Who We Are: Company Overview. *BANNER* [online]. [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://www.bannerengineering.com/in/en/company/overview.html>
- [27] IVu Series: Vision Sensor. *BANNER* [online]. [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://www.bannerengineering.com/in/en/products/machine-vision/vision-sensors/vision-sensor-ivu-series.html>
- [28] PRODUCTS: Vision Sensors and Vision Lighting. *BANNER* [online]. [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://www.bannerengineering.com/in/en/products/machine-vision.html>
- [29] Coporate. *MATRIX VISION* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.matrix-vision.com/corporate.html>

- [30] Versatile smart camera of the next generation - mvBlueLYNX-X. *MATRIX VISION* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.matrix-vision.com/smart-vision-sensor-mvbluelynx-x.html>
- [31] Výrobky. *FESTO* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/products](https://www.festo.com/cat/cs_cz/products)
- [32] Zpracování obrazu. *FESTO* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/9511.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/9511.htm)
- [33] Oblast obchodu. *OMRON: Průmyslová automatizace* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/company-info/business-fields>
- [34] Řízení a kontrola kvality. *Omron* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/products/quality-control-inspection>
- [35] *Ifm* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs>
- [36] *Vision sensors for recognition and assessment of objects and scenes*. [online]. ifm [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: [https://www.ifm.com/ifmweb/downcont.nsf/files/ifm-brochure-vision-sensors-english-2012/\\$file/ifm-brochure-vision-sensors-english-2012.pdf](https://www.ifm.com/ifmweb/downcont.nsf/files/ifm-brochure-vision-sensors-english-2012/$file/ifm-brochure-vision-sensors-english-2012.pdf)
- [37] Průmyslové vidění. *Ifm* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/category/020>
- [38] Innovations for Industries of the Future. *Wenglor: the inovative family* [online]. [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://www.wenglor.com/about-wenglor/company/what-we-do/>
- [39] Wenglor Product World. *Wenglor: the inovative family* [online]. [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://www.wenglor.com/product-world/products/>
- [40] About us: A business built on innovation. *Datalogic: EMPOWER YOUR VISION* [online]. [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: [http://www.datalogic.com/eng/company/about-us-pa-4220.html#about\\_us](http://www.datalogic.com/eng/company/about-us-pa-4220.html#about_us)
- [41] Vision Systems: Overview. *Datalogic: EMPOWER YOUR VISION* [online]. [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <http://www.datalogic.com/eng/products/industrial-automation/vision-systems-pc-16.html>
- [42] Data Sheet: IV-150MA [online]. KEYENCE AMERICA, 2018 [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/mykeyence/?ptn=001&dlSiteId=1&dlLanguageId=en-US&dlLangType=en-US>
- [43] COGNEX: IN-SIGHT 2000 SERIES VISION SENSORS [online]. Cognex Corporation, 2018 [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/in-sight-2000-series-vision-sensors-datasheet-16566>
- [44] VSPM-6F2113: Inspector [online]. Germany: SICK, 2018 [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: [https://cdn.sick.com/media/pdf/5/45/945/dataSheet\\_VSPM-6F2113\\_1062407\\_cs.pdf](https://cdn.sick.com/media/pdf/5/45/945/dataSheet_VSPM-6F2113_1062407_cs.pdf)

- [45] BVS UR-3-003-E: Objednací kód: BVS001N [online]. Balluff, 2018 [cit. 2018-11-04].  
Dostupné z:  
[http://publications.balluff.com/mongodb\\_pdb/public\\_pdb\\_material.php?id=227225&revision=0.18&pg=PG184363&pf=PF184364&con=cs&ws=approval](http://publications.balluff.com/mongodb_pdb/public_pdb_material.php?id=227225&revision=0.18&pg=PG184363&pf=PF184364&con=cs&ws=approval)
- [46] VISOR® V10 Objektový snímač: Kamerový snímač Standard pro snímání objektů, 12 mm [online]. SENSOPART [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.cz/admin-data/storage/get/137-v10-ob-12.pdf>
- [47] VeriSens XF700: VS XF700M03W12IP [online]. Baumer [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: [https://www.baumer.com/se/en/product-overview/image-processing-identification/vision-sensors/xf-series/vs-xf700m03w12ip/p/medias/\\_\\_\\_secure\\_\\_\\_/Baumer\\_VS\\_XF700M03W12IP\\_DS\\_EN.pdf?mediaPK=8799037849630](https://www.baumer.com/se/en/product-overview/image-processing-identification/vision-sensors/xf-series/vs-xf700m03w12ip/p/medias/___secure___/Baumer_VS_XF700M03W12IP_DS_EN.pdf?mediaPK=8799037849630)
- [48] Zpracování obrazu: Černobílý obrazový senzor IVU2PRGW12 [online]. TURCK [cit. 2018-11-05]. Dostupné z:  
[http://pdb2.turck.de/repo/media/\\_cz/Anlagen/Datei\\_EDB/edb\\_3090919\\_ces\\_cz.pdf](http://pdb2.turck.de/repo/media/_cz/Anlagen/Datei_EDB/edb_3090919_ces_cz.pdf)
- [49] MvBlueLYNX-X: Technical Details [online]. MATRIX VISION [cit. 2018-11-05].  
Dostupné z: <https://www.matrix-vision.com/smart-vision-sensor-mvbluelynx-x.html>
- [50] SBS, kamerová čidla [online]. FESTO, 2017 [cit. 2018-11-05]. Dostupné z:  
[https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/SBSI\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/SBSI_CZ.PDF)
- [51] *KAMEROVÝ SENZOR FQ2: Nový standard v kamerové kontrole a ověřování kódů* [online]. Omron [cit. 2019-01-19]. Dostupné z:  
[https://assets.omron.eu/downloads/brochure/cs/v3/fq2\\_brochure\\_cs.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/brochure/cs/v3/fq2_brochure_cs.pdf)
- [52] *O2V101: O2VWRNKG/O/V/GM/E1/E2/S*. 2010: ifm. Dostupné také z:  
<https://www.ifm.com/cz/cs/product/O2V101?tab=documents>
- [53] B50S005: weQubeVision. *Wenglor: the inovative family* [online]. [cit. 2019-02-10].  
Dostupné z:  
[https://www.wenglor.com/index.php?L=0&id=1148&tx\\_wssshoploader\\_pi1\[url\]=catalog/productDetail.jsf;;wec-appid::Shop\\_1000\\_EXT\\_EN;;itemKey::B50S005;;wec-locale::en\\_US;;ifr::y](https://www.wenglor.com/index.php?L=0&id=1148&tx_wssshoploader_pi1[url]=catalog/productDetail.jsf;;wec-appid::Shop_1000_EXT_EN;;itemKey::B50S005;;wec-locale::en_US;;ifr::y)
- [54] *DataVS2-xx-RE-PRO-x: Vision Sensor*. Datalogic. Dostupné také z:  
<http://www.datalogic.com/eng/products/manufacturing-healthcare-transportation-logistics-retail/vision-systems/datavs2-pd-527.html>
- [55] CLOSE RANGE SENSOR MODEL: Monochrome AF type IV-150MA, Monochrome MF type IV-150M. In: *KEYENCE* [online]. [cit. 2018-12-07]. Dostupné z:  
<https://www.keyence.com/products/vision/vision-sensor/iv/variations/index.jsp>
- [56] IV-D10: Dome Attachment. In: *KEYENCE* [online]. [cit. 2018-12-07]. Dostupné z:  
<https://www.keyence.com/products/vision/vision-sensor/iv/models/iv-d10/index.jsp>
- [57] *IV-H1: IV-Navigator*. Keyence, 2018. Dostupné také z:  
<https://www.keyence.com/products/vision/vision-sensor/iv/models/iv-h1/index.jsp>

- [58] *IN-SIGHT 2000 VISION SENSORS: Field of View Options* [online]. In: . [cit. 2018-12-07]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-sensors/in-sight-2000-vision-sensors/models-and-specs>
- [59] *IN-SIGHT EXPLORER 5.6.0 RELEASE NOTES*. Cognex, 2018. Dostupné také z: <https://support.cognex.com/en/downloads/detail/in-sight/3639/1033>
- [60] Osvětlovače pro strojové vidění. *W-TECHNIKA GROUP S.R.O.: Váš partner pro strojové vidění Váš partner pro strojové vidění a termovizní systémy* [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://www.prumyslova-kamera.cz/content/15-osvetlovace>
- [61] *AUTOMA: časopis pro automatizační techniku*. FCC Public, 2008, **14**(4). ISSN 1210-9592.
- [62] O8H214: Reflexní světelný snímač s potlačeným pozadím. In: *Ifm* [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/O8H214>
- [63] ŽÍDEK, Jan. *Metrologie a přesná měření: Statistická analýza chyb měření*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2017. Dostupné také z: [https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/741602/mod\\_resource/content/4/Pr\\_05\\_Statisticka\\_analyza\\_chyb\\_mereni.pdf](https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/741602/mod_resource/content/4/Pr_05_Statisticka_analyza_chyb_mereni.pdf)
- [64] ŽÍDEK, Jan. *METROLOGIE A PŘESNÁ MĚŘENÍ: učební text a návody do cvičení* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: [https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/741570/mod\\_resource/content/1/Metrologie\\_a\\_presna\\_mereni\\_12\\_09\\_13.pdf](https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/741570/mod_resource/content/1/Metrologie_a_presna_mereni_12_09_13.pdf)
- [65] ŽÍDEK, Jan. *Metrologie a přesná měření: Statistická regulace procesu měření* [online]. In: . 2017 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: [https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/741678/mod\\_resource/content/2/Pr\\_13\\_Statisticka\\_regulace\\_procesu\\_mereni.pdf](https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/741678/mod_resource/content/2/Pr_13_Statisticka_regulace_procesu_mereni.pdf)
- [66] ILLUMINATION Illuminate features & make defects visible: Inspecting with backlight illumination. *Vision Doctor: Solutions for Industrial Machine Vision* [online]. [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.vision-doctor.com/en/illumination-techniques/backlight-illumination.html>
- [67] Back-light světla: Spodní difúzní iluminace pro zvýraznění tvaru a kontur kontrolovaného objektu. In: *Smart View* [online]. [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/osvetleni/back-light-svetla>
- [68] Bodová světla. In: *Smart View* [online]. [cit. 2019-02-07]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/osvetleni/bodova-svetla>



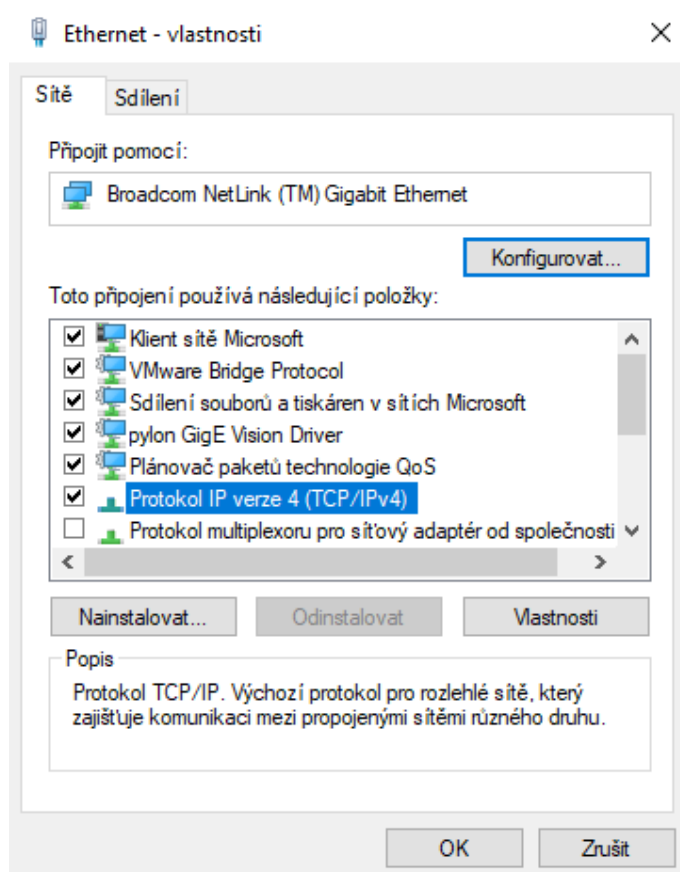
## Seznam příloh

Příloha A:	Připojení se ke kamerovému senzoru a základní nastavení.....	I
Příloha B:	Příloha na CD .....	XI

---

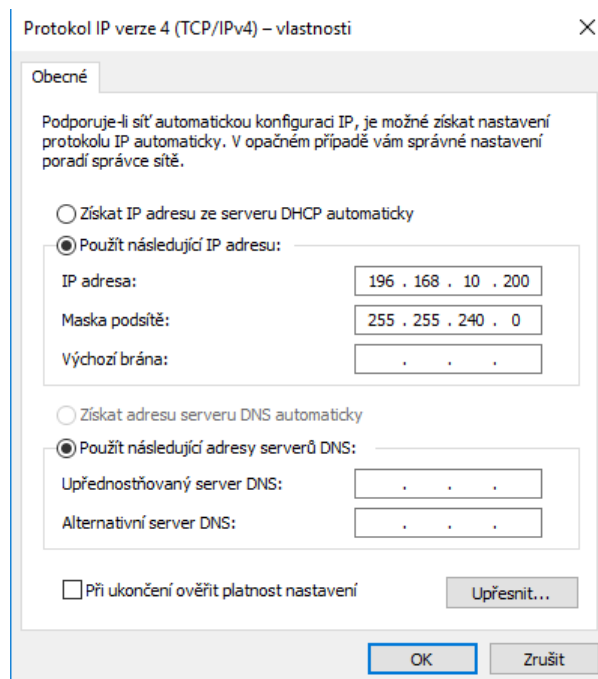
Příloha A: *Připojení se ke kamerovému senzoru a základní nastavení*

Pro připojení se k oběma kamerovým senzorům současně je nejdříve nutné je mít připojené na společné síti s počítačem. K tomu byl, v tomto konkrétním případě, využit desetiportový gigabitový přepínač Netgear GS110TP. Dále je nutné mít nastaveno na obou kamerových senzorech, a také na připojeném počítači, stejné první tři čísla adresy IP, tedy číslo sítě, číslo podsítě i číslo síťového rozhraní. Poslední číslo adresy IP naopak musí být rozdílné. Masku podsítě musí být stejná. Na Obr. 53 je ukázáno, kde lze v PC s Windows 10 změnit adresu IP.



*Obr. 53 Nastavení protokolu TCP/IP*

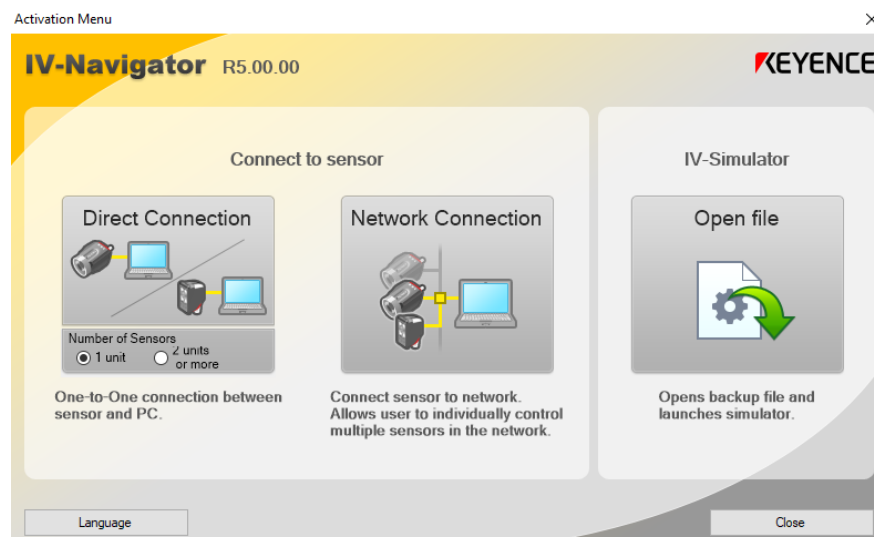
Byla změněna IP adresa počítače a kamerového senzoru Cognex, IP adresa kamerového senzoru značky Keyence zůstala stejná, a to 196.168.10.2. IP adresa počítače je změněna v Síťová připojení, Ethernet – vlastnosti, Protokol IP verze 4 (TCP/IPv4), zde je nutné kliknout na Vlastnosti a zvolit možnost Použít následující IP adresu, poté kliknout na OK.



Obr. 54 Změna adresy IP na PC

## Keyence

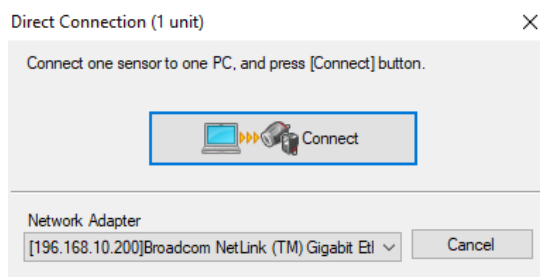
IP adresa počítače je tedy nastavená tak, aby bylo možné připojit se ke kamerovému senzoru Keyence. V softwaru Keyence IV Navigator je možné se připojit k senzoru buďto pomocí Direct Connection, které slouží k přímému připojení, nebo pomocí Network Connection, které slouží k síťovému připojení ke kamerovému senzoru.



Obr. 55 Možnosti připojení ke kamerovému senzoru

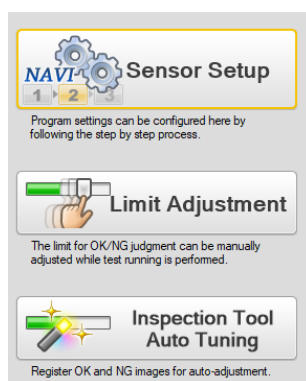
---

Je nutné vybrat správný síťový adaptér a poté je možné se stisknutím Connect připojit ke kamerovému senzoru.



*Obr. 56 Připojení ke kamerovému senzoru pomocí Direct Connection*

Po připojení ke kamerovému senzoru je, při prvním spuštění, kamerový senzor inicializován. Poté je možné přejít k nastavení senzoru kliknutím na Sensor Setup.



*Obr. 57 Nastavení kamerového senzoru*

V prvním kroku je nastavena spoušť (trigger) kamerového senzoru, jas, zaostření a rozšířené funkce. U spouště lze volit mezi interní a externí volbou. Je možné zvolit i interval spouště u interní volby, čímž lze prodloužit dobu, po kterou bude kamerový senzor provádět inspekci, a zpoždění u externí volby.

STEP1. Image Optimization

Please setup the imaging conditions below.  
Set the trigger options, adjust the brightness and imaging focus.

Trigger Options

External Trigger, Delay 0ms

Brightness Adjustment

Bright:55, Mode:HDR

Focus Adjustment

Extended Functions

Trigger Options

Please select internal or external trigger as well as the timing.

Trigger Options

☐ Internal Trigger  
Trigger Interval  ms (1 to 10,000)

☒ External Trigger  
Trigger Delay  ms (0 to 1,000)

Obr. 58 Optimalizace obrazu

U nastavení jasu lze volit ze tří módů obrazu, a to Normal, HDR a High Gain, každý je vhodný pro jinou aplikaci. Kamerové senzory Keyence mají také možnost zvolit Automatic Brightness Adjustment, kdy je jas nastaven automaticky, je však vhodné ho ručně doladit podle konkrétní aplikace.

STEP1. Image Optimization

Please setup the imaging conditions below.  
Set the trigger options, adjust the brightness and imaging focus.

Trigger Options

External Trigger, Delay 0ms

Brightness Adjustment


Bright:55, Mode:HDR

Focus Adjustment

Extended Functions

Brightness Adjustment

Place the object in the field of view, then adjust brightness.



Automatic Brightness Adjustment


Imaging Mode

☐ Normal
☒ HDR
☐ High Gain

Brightness

Exposure Time: 0.10 ms

Dark 1
120 Bright

 Undo

Obr. 59 Nastavení jasu

V další záložce je nastavováno zaostření objektivu, což je také možné udělat automaticky pomocí Automatic Focus Adjustment. Automatické zaostření však nemusí být ideální a je občas nutné ho ručně doostřit.

**STEP1. Image Optimization**

Please setup the imaging conditions below.  
Set the trigger options, adjust the brightness and imaging focus.

**Trigger Options** External Trigger, Delay 0ms

**Brightness Adjustment** Bright:55, Mode:HDR

**Focus Adjustment**

**Extended Functions**

**Focus Adjustment**

Place the object in the field of view, then press [Automatic Focus Adjustment] button to adjust focus position.

**Automatic Focus Adjustment**

Focus Position 50 75 100 150 [mm]

Near Far

Undo

Obr. 60 Nastavení zaostření obrazu

V poslední záložce je možné zmenšit velikost obrazu, na který se kamerový senzor zaměří, nastavit digitální přiblížení obrazu a také upravovat interní osvětlení. Osvětlení je možné buďto vypnout, nebo ho nastavit tak, že bude blikat s určitou frekvencí, případně bude svítit kontinuálně.

**STEP1. Image Optimization**

Please setup the imaging conditions below.  
Set the trigger options, adjust the brightness and imaging focus.

**Trigger Options** External Trigger, Delay 0ms

**Brightness Adjustment** Bright:55, Mode:HDR

**Focus Adjustment**

**Extended Functions**

**Imaging Area** Lighting

Set the sensor's imaging area.  
Reducing this area will increase the speed.

Imaging Area

☒ Entire ☐ Partial

Digital Zoom

Magnification OFF

When the magnification is set to x2 or greater, you can set the zoom area and filter.

Zoom Area

Filter

Undo

Obr. 61 Rozšířené možnosti nastavení obrazu

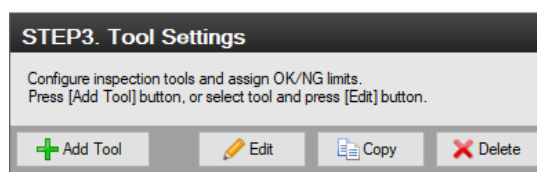
---

V dalším kroku je nastaven referenční snímek, což je snímek, podle kterého bude kamerový senzor porovnávat ostatní snímky. Je zvykem, že referenční snímek je bezchybný produkt, který by měl inspekci projít bez problémů.



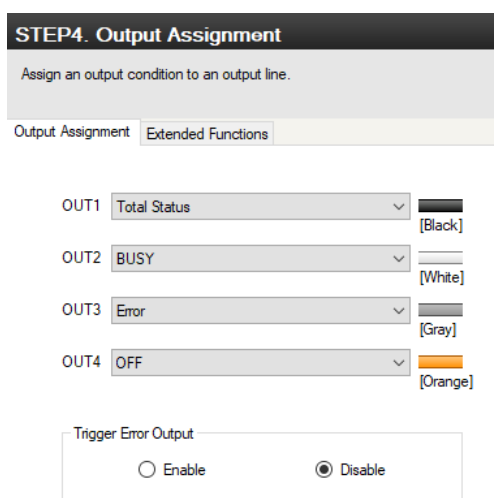
*Obr. 62 Nastavení referenčního snímku*

Krok číslo 3 je již nastavení samotné inspekce, kdy jsou přidávány a nastavovány jednotlivé nástroje, podle kterých bude inspekce vyhodnocena.



*Obr. 63 Nastavení nástrojů pro inspekce*

V posledním kroku jsou nastavení výstupů a rozšířené funkce. Lze zde nastavit, co budou signalizovat jednotlivé vodiče, a také zde nastavit jednoduchou logiku pomocí logických členů AND a OR, čímž lze kombinovat výsledky jednotlivých inspekcí.



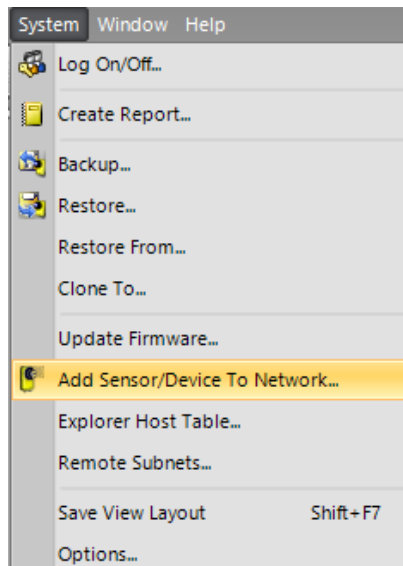
*Obr. 64 Nastavení výstupů*

Po kompletním nastavení kamerového senzoru je možné spustit program pomocí tlačítka Run.

---

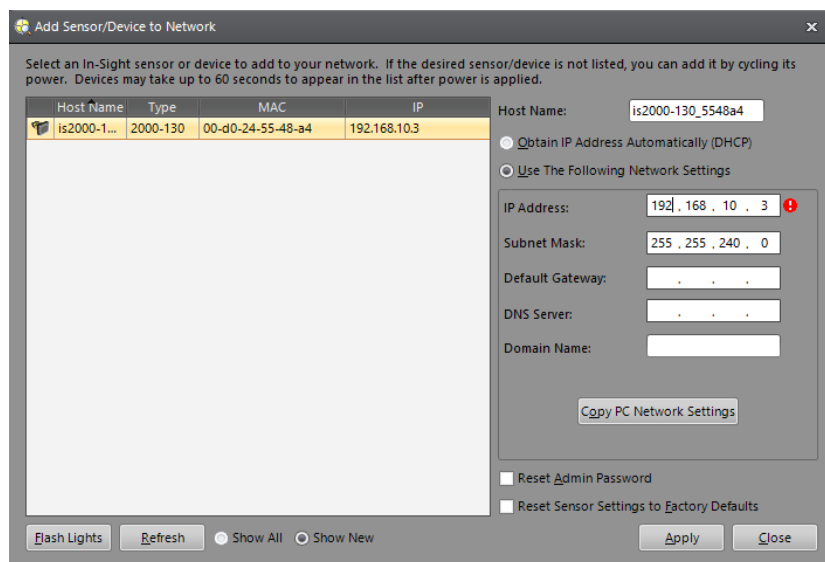
## Cognex

U kamerového senzoru Cognex je po spuštění aplikace In-Sight Explorer přidán kamerový senzor do sítě kliknutím na Add Sensor/Device To Network.



Obr. 65 Přidání kamerového senzoru do sítě

Vyskočí okno s dostupnými zařízeními, u kterých je možné libovolně měnit síťové nastavení. Pokud je některé nastavení v kolizi s nastavením síťového adaptéru, bude u tohoto nastavení bílý vykřičník v červeném kruhu. Pokud bude nastavení správné, vykřičník zmizí a lze se bez problému připojit k danému zařízení.



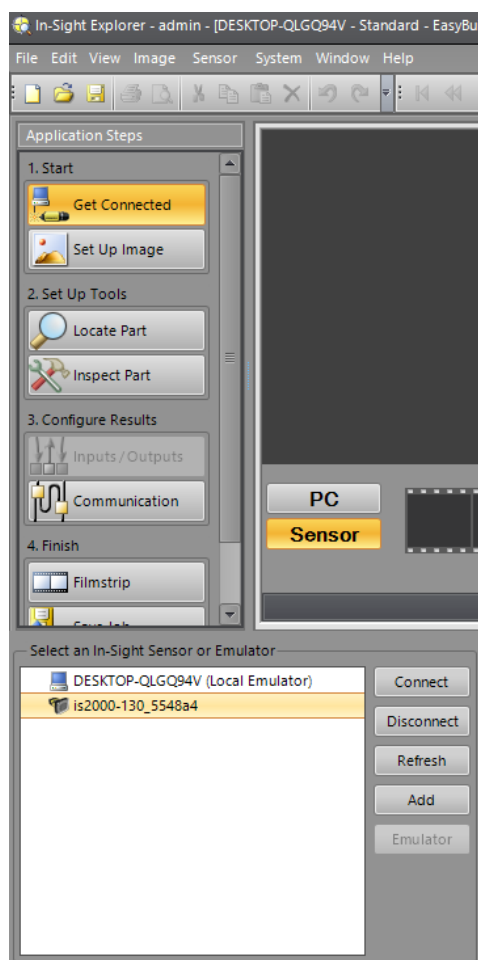
Obr. 66 Síťové nastavení

Jednotlivé kroky jsou ve sloupci pod nápisem Application Steps. Pokud je vše správně nastaveno, po kliknutí na Get Connected lze vidět zvolený kamerový senzor. V tabulce Select



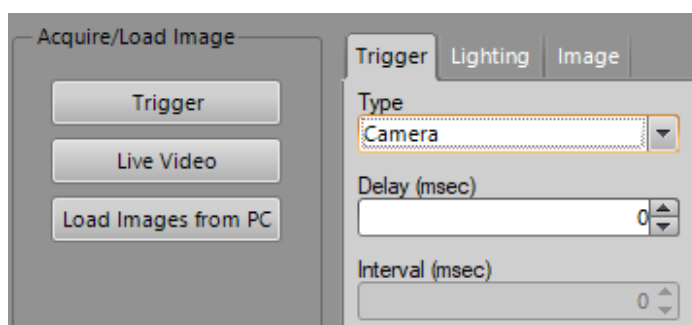
---

an In-Sight Sensor or Emulator, je zvolen kamerový senzor. Připojení se k němu je možné pomocí Connect.



*Obr. 67 Připojení se ke kamerovému senzoru*

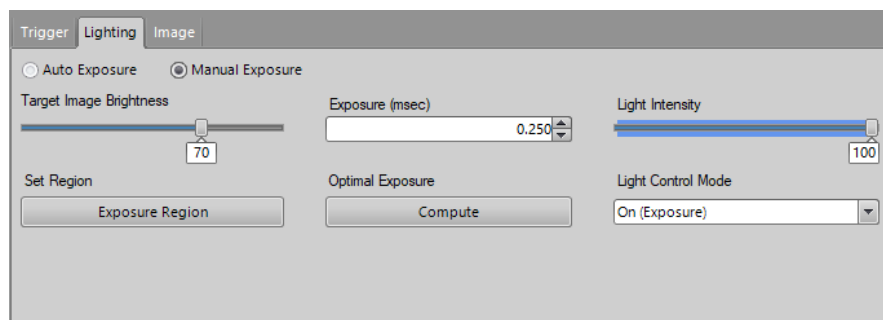
Dalším krokem je nastavení referenčního snímku. Lze zde také nastavit spoušť (Trigger), kde je volen způsob ovládání spouště, zpoždění a případně i interval.



*Obr. 68 Nastavení triggeru*

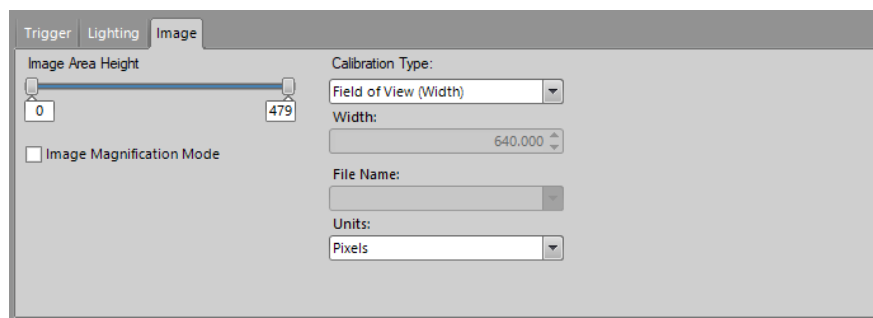
Dále je zde nastaveno osvětlení, expoziční doba, intenzita osvětlení, zapnutí/vypnutí osvětlení, oblast expozice a lze automaticky nastavit expozici, což stejně jako u kamerového senzoru Keyence je

u některých aplikací nutné doladit ručně. Vzhledem k tomu, že tento kamerový senzor nemá automatické ostření, je nutné ho zaostřit ručně, pomocí šroubu na těle kamerového senzoru.



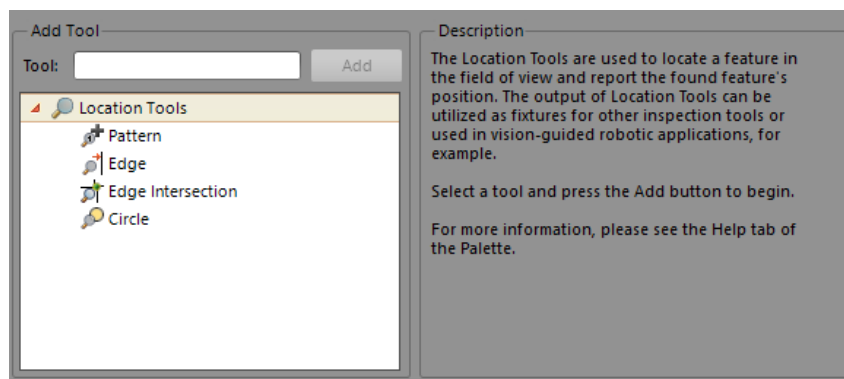
Obr. 69 Nastavení osvětlení

V poslední záložce je možné upravit velikost obrazu, zvolit typ kalibrace a také nastavit jednotky, ve kterých bude kamerový senzor ukazovat výsledky inspekci.



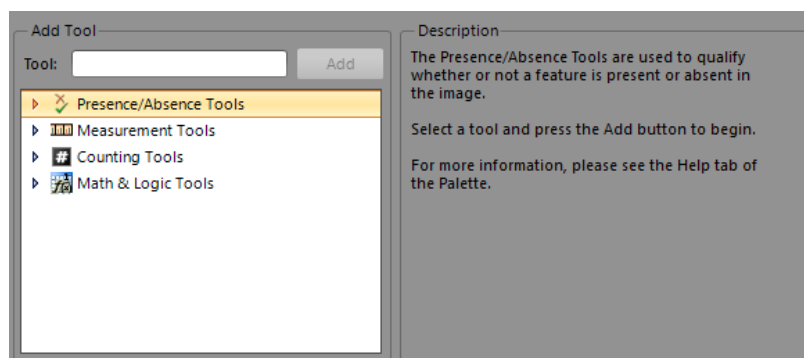
Obr. 70 Nastavení obrazu

V dalším bodě jsou nástroje pro lokalizování objektu. Je možné hledat vzor, kde je vyhledáván objekt podobný referenčnímu snímku, nebo části referenčního snímku, typicky je to dobře rozpoznatelná část obrazu, která bude u zkoumaných objektů vždy dobře viditelná. Dále lze nalézt hrany, překřížení hran a kruh.



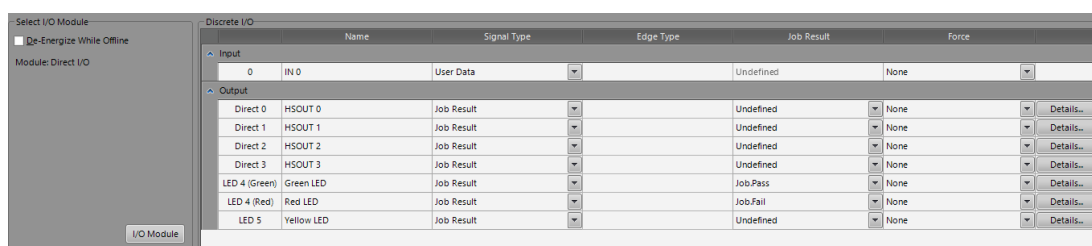
Obr. 71 Lokalizování objektu

Následují nástroje pro inspekci. Lze zde nalézt nástroj pro určení, zda v obraze nějaká vlastnost je či není, například je možné počítat určité pixely a jas. Jsou zde také měřicí nástroje, nástroje pro počítání a také matematické a logické funkce, kde lze kombinovat výsledky jednotlivých inspekci.



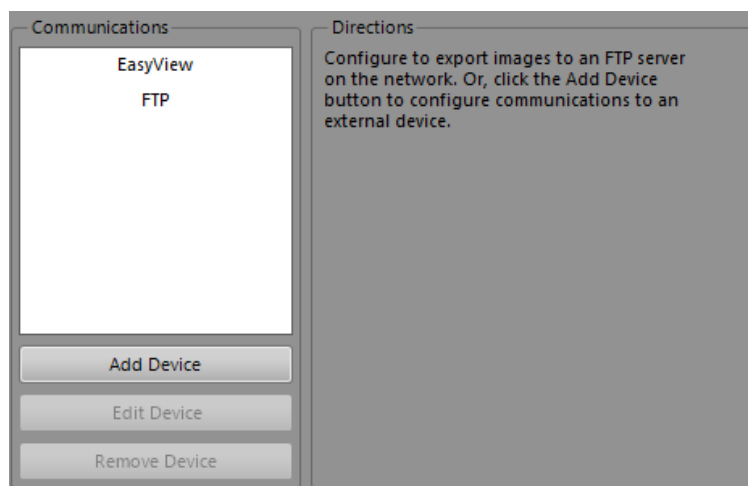
*Obr. 72 Nástroje pro inspekce*

Další krok slouží pro nastavení vstupů a výstupů.



*Obr. 73 Nastavení vstupů a výstupů*

Následně lze nastavit komunikace.



*Obr. 74 Nastavení komunikace*

Poslední kroky slouží pro nastavení ukládání snímků, uložení vytvořeného programu a také pro spuštění programu, ten je spuštěn stiskem Run Job.

---

Příloha B:      *Příloha na CD*

## **Struktura přílohy na CD:**

- Marek\_Jeriga\_JER0031\_DP.pdf – diplomová práce ve formátu PDF/A
- Programy – vytvořené programy pro jednotlivé inspekce
- Datové listy – dokumentace k porovnávaným kamerovým senzorům
- Snímky – snímky vytvořené kamerovými senzory při testování jednotlivých úloh
- Výpočty – výpočty v tabulkovém procesoru Excel